

PEILING NAAR KENNIS OVER KLIMAAT EN ENERGIE BIJ LEERLINGEN IN HET SECUNDAIR ONDERWIJS

EDUCATIEF PAKKET KLIMAATVERANDERING

Aantal woorden: 7.555

Laura Vervacke

Studentennummer: 01912935

Promotor: Prof. dr. Dirk Verschuren

Verkorte Educatieve Masterproef (9SP) voorgelegd tot het behalen van de graad van de Educatieve Master in de "Wetenschappen en technologie"

Academiejaar: 2019 – 2020, Educatieve Masteropleiding

Voorwoord

Deze scriptie vormt het sluitstuk van de educatieve masteropleiding in de wetenschappen en technologie met afstudeerrichting biologie. Vijf jaar geleden startte ik de bacheloropleiding Biologie aan de Kulak. De masteropleiding zette ik verder in Leuven waar ik vorig jaar (2018-2019) afstudeerde als *Master of Science in Biology* met specialisatie *Ecology, Evolution and Conservation Biology*. Naast mijn passie voor de natuur, heb ik een sterke interesse ontwikkeld voor lesgeven. Daarom besloot ik dit schooljaar (2019-2020) om de educatieve masteropleiding in wetenschappen en technologie aan de UGent te volgen. Ik heb de ambitie om mijn academische vakkennis en passie over te brengen op jongeren en hen te begeleiden in het ontwikkelen van kennis en vaardigheden. Met deze scriptie wil ik leerkrachten en jongeren aanmoedigen om hun kennis omtrent klimaatverandering bij te spijkeren en deel te nemen aan het debat over de transitie naar een koolstofarme maatschappij tegen 2050. Het schrijven van deze scriptie was een leerrijke ervaring die mij heeft toegestaan een verder begrip te krijgen over vakinhoudelijke en pedagogische kennis omtrent klimaatverandering.

Graag wil ik van deze gelegenheid gebruik maken om mijn promotor Prof. Dirk Verschuren te bedanken, die me persoonlijk begeleidt heeft bij het verwezenlijken van deze scriptie. Ik wil hem bedanken voor de begeleiding in het schrijfproces en de waardevolle en constructieve feedback die de inhoud en structuur van mijn scriptie naar een hoger niveau tillen. Zijn deskundig advies en begeleiding brachten deze masterproef tot een goed einde. Ook mijn coördinator Luc Zwartjes wil ik graag bedanken voor het meehelpen brainstormen over de opzet van de scriptie en het beantwoorden van mijn vragen. Ik ben erg dankbaar voor de mentale steun en aanmoediging van mijn familie doorheen mijn opleiding. De verwezenlijking van deze scriptie was niet mogelijk zonder hen.

Abstract

In 2015 werd in Parijs het klimaatakkoord ondertekend waarbij de overheden van 195 landen erkenden dat klimaatverandering een grote bedreiging vormt voor de mensheid en de planeet. Het is nu voor iedereen duidelijk dat de belangrijkste negatieve gevolgen van het opwarmend klimaat (zeespiegelstijging, watertekort, overstromingen, stormen en orkanen, bosbranden, verzilting ...) in de komende jaren frequenter zullen voorkomen, en dus wordt het hoog tijd voor robuuste klimaatacties, in het bijzonder een drastische reductie in de uitstoot van broeikasgassen. Om de noodzakelijke brede kentering in publieke opinie te bewerkstelligen is het noodzakelijk om het belang van deze kwestie te integreren in het onderwijs. Ondanks de beleidsnota van Ben Weyts en de vele wetenschappers die het probleem beschrijven als 'the most delicate of our times', slaagt het Vlaamse onderwijs er niet in om jongeren in het algemeen voor te bereiden op deze complexe uitdaging. De kennis van jongeren over klimaatverandering en de uitputting van energiebronnen is ruim onvoldoende en overheerst door allerlei misvattingen. Meer nog: over het algemeen kan geconcludeerd worden dat de gemiddelde (toekomstige) leerkracht er dezelfde misvattingen op nahoudt als zijn/haar (toekomstige) leerlingen. Bijgevolg zijn de Vlaamse leerkrachten in opleiding globaal gezien niet voldoende gewapend om de klimaatproblematiek op een correcte wijze te onderwijzen. Om te komen tot degelijk klimaatonderwijs moet er aandacht worden besteed aan wetenschappelijk correcte en didactisch sterk onderbouwde educatieve pakketten die leerkrachten kunnen gebruiken in hun lessen.

Het doel van dit scriptie-onderzoek is om (1) Met behulp van een enquête inzicht te verkrijgen in de klimaatkennis bij jongeren; (2) Via kwalitatief onderzoek nagaan aan welke leerinhouden en didactische principes toekomstige leermiddelen omtrent klimaatverandering moeten voldoen; (3) Een educatief pakket voor leerkrachten ontwikkelen dat voortbouwt op de juiste en foute keuzeantwoorden van de enquête om correcties voor veel voorkomende misvattingen in het lesmateriaal te integreren; en (4) Een suggestie te doen van hoe het op gepaste didactische principes gebaseerde educatief pakket in een klimaatles kan worden geïntegreerd.

Lessenreeksen omtrent klimaatopwarming zouden volgende componenten van leerinhoud moeten bevatten: natuurlijke klimaatverandering in het (verre) verleden als historisch perspectief; oorzaken en gevolgen van antropogene klimaatverandering; oplossingen voor klimaatverandering in de vorm van mitigatie- en adaptatiestrategieën. Vijf onderwijsstrategieën zijn effectief gebleken in het onderwijzen van klimaatverandering: (1) het persoonlijk relevant en zinvol maken van informatie over klimaatverandering; (2) misvattingen over klimaatverandering aan het licht brengen en corrigeren; (3) discussiesessies om de leerlingen te helpen hun eigen en andermans standpunten en kennis over de klimaatverandering beter te begrijpen; (4) leerlingen laten communiceren met wetenschappers en het

wetenschappelijk proces zelf laten ervaren; en (5) leerlingen betrekken bij het ontwerp en uitvoering van school- of gemeenschapsprojecten om één of ander aspect van de klimaatverandering aan te pakken. Een lesvoorbeeld werd uitgewerkt waarbij de focus ligt op de 1^{ste} en 2^{de} van de hierboven vermelde onderwijsstrategieën.

Inhoudsopgave

Voorwoord	i
Abstract	ii
0. Preambule: impact van corona-maatregelen op deze masterproef.....	1
0.1 Opzet van het onderzoek zoals oorspronkelijk gepland	1
0.2 Elementen die niet konden worden doorlopen zoals oorspronkelijk gepland	1
0.2 Aanpassingen en nieuwe elementen doorgevoerd ter compensatie	1
1. Inleiding	2
1.1 Context: de essentie van klimaatverandering.....	2
1.2 Scholieren en de problematiek van klimaatverandering	6
1.3 Het belang van klimaateducatie.....	7
1.4 Tekortkomingen in het educatief systeem met betrekking tot klimaateducatie	7
1.4.1 Eindtermen.....	7
1.4.2 Ondersteuning leerkrachten	9
2. Doel en onderzoeksvragen van deze scriptie	11
3. Methodes van het onderzoek	12
3.1 Enquête voor peiling van klimaatkennis bij leerlingen 3 ^{de} graad.....	12
3.2 Lessenpakket klimaatkennis 1: verbeter sleutel van de enquête	13
3.3 Literatuuronderzoek.....	13
3.4 Lessenpakket klimaatkennis 2: behandeling van misvattingen in de actualiteit	14
4. Resultaten en Discussie 4.1 Enquête voor peiling van klimaatkennis bij leerlingen 3de graad.....	14
4.2 Lessenpakket klimaatkennis 1: verbeter sleutel van de enquête	14
4.3 Welke kennis en inzichten zetten aan tot klimaatneutraal gedrag?.....	14
4.4 Pedagogische strategieën.....	16
4.5 Lessenpakket klimaatkennis 2: behandeling van misvattingen in de actualiteit	18
5. Algemene discussie en nabeschuiving	18
6. Bibliografie.....	20
Bijlage 1. Enquête voor peiling van klimaatkennis bij leerlingen 3 ^{de} graad.....	25

Bijlage 2. Lessenpakket klimaatkennis 1: verbeter sleutel van de enquête.....	31
Bijlage 3. Lessenpakket klimaatkennis 2: behandeling van misvattingen in de actualiteit.....	65

0. Preambule: impact van corona-maatregelen op deze masterproef

0.1 Opzet van het onderzoek zoals oorspronkelijk gepland

Zie sectie 3. Methodes van het onderzoek

0.2 Elementen die niet konden worden doorlopen zoals oorspronkelijk gepland

Geen eigen enquêteresultaten, zie sectie 3.1.

0.2 Aanpassingen en nieuwe elementen doorgevoerd ter compensatie

1) Online versie van de enquête, zie sectie 3.1.

2) Volledig uitgewerkte verbeter sleutel van de enquête, zie secties 3.2 en 4.2.

Deze preambule werd in overleg tussen student Laura Vervacke en promotor Prof. Dirk Verschuren opgesteld en door beiden goedgekeurd.

1. Inleiding

1.1 Context: de essentie van klimaatverandering

Het klimaat op aarde is in de loop van de geschiedenis veranderd. Alleen al in de laatste 650.000 jaar zijn er zeven cycli van gletsjervooruitgang en -terugtrekking geweest. Ongeveer 11.700 jaar geleden kwam er een eind aan de laatste grote ijstijd en steeg de temperatuur op aarde snel naar ongeveer het huidig niveau. De timing van temperatuurschommelingen op deze tijdschaal wordt bepaald door zeer kleine natuurlijke variaties in de stand van de aarde ten opzichte van de zon waardoor de seizoenale en breedtegraadsverdeling van de zonne-energie die onze planeet ontvangt, verandert. Die kleine variaties in stralings-input zetten op hun beurt een reeks positieve terugkoppelingen in gang tussen de grote componenten van het klimaatsysteem (de atmosfeer, oceanen, continenten en ijskappen) waardoor er uiteindelijk een groot contrast ontstaat in de gemiddelde wereldtemperatuur tijdens ijstijden en tussenijstijden. De huidige tussenijstijd, gekenmerkt door zachtere temperaturen, wordt het Holoceen genoemd (Walker, 2009). Deze temperaturen vormen ideale leefomstandigheden voor de mens (Zalasiewicz et al., 2011; Elias, 2013). Het markeerde dan ook het begin van het moderne klimaat tijdperk en van de menselijke beschaving. Van een levensstijl als jager-verzamelaar was het nu mogelijk om zich een langere periode op eenzelfde plaats te vestigen (Kalis et al., 2003). Grote hoeveelheden bos werden omgevormd tot akkers om aan landbouw te doen (Walker, 2009; Elias, 2013; Kalis et al., 2003). Vooral in West-Europa en delen van Azië wordt gedurende de laatste 2000 jaar het landschap niet langer gedomineerd door natuurlijke processen maar vond er een verschuiving plaats naar een omgeving gedomineerd door menselijke activiteiten (Notebaert & Verstraeten, 2010; Broothaerts et al., 2013, 2014).

Veel onderzoekers leggen de nadruk op de drastische milieuveranderingen die gepaard gingen met de temperatuurstijging sinds de laat-19^{de} eeuw (Crutzen, 2002). Sinds de Industriële Revolutie heeft de mens een grotere vraag naar energie als gevolg van de bevolkingsgroei (Zalasiewicz, 2011; Oldfield, 2005; Mock, 2013). Vanaf het midden van de 19^{de} eeuw werd het overgrote deel van die energie verkregen door het verbranden van fossiele brandstoffen zoals steenkool, olie en gas, waardoor grote hoeveelheden broeikasgassen (vnl. CO₂) vrijkomen. Ook veranderingen in landgebruik zoals massale ontbossing voor landbouwgrond zorgden voor een stijging in de CO₂-emissies (IPCC, 2013). Daarnaast zijn methaan (CH₄), lachgas (N₂O), waterdamp (H₂O) en fluorgassen of chloorfluorkoolwaterstoffen (CFK's) de andere belangrijke broeikasgassen. Methaan komt naast aardgas vooral vrij bij veeteelt en afvalverwerking, lachgas komt vrij uit grond die bemest is met kunstmest of dierlijke mest en uit chemische processen in de industrie, en fluorgassen werden tot enkele decennia geleden gebruikt in

spruitbussen, airco's en koelkasten. Door die antropogene uitstoot is de concentratie van broeikasgassen in de atmosfeer verhoogd. Maar wat is het effect van die broeikasgassen in de atmosfeer?

Broeikasgassen zijn van nature terug te vinden in de atmosfeer. De concentratie van deze gassen in de atmosfeer is het resultaat van talrijke dynamische processen en cycli die op elkaar ingrijpen. Broeikasgassen beïnvloeden de temperatuur op aarde. Dit proces wordt het broeikaseffect genoemd. Zonne-energie komt de atmosfeer binnen onder de vorm van zichtbaar licht en ultraviolet (UV) straling. Een deel van die energie wordt weerkaatst door het aardoppervlak richting de ruimte maar het grootste deel wordt geabsorbeerd aan het aardoppervlak. De energie die geabsorbeerd wordt, wordt nadien door de aarde terug uitgestraald in de vorm van infrarood (IR) straling. Broeikasgassen in onze atmosfeer gaan die infraroodstraling absorberen en vervolgens terug uitzenden in alle richtingen. Een deel ervan zal worden uitgezonden richting de ruimte maar een ander deel wordt teruggezonden richting aarde. En daarom is het op aarde warmer met broeikasgassen dan zonder broeikasgassen (Ali, 2013). Dit effect is ook zonder de aanwezigheid van de mens een feit. Mochten er geen broeikasgassen zijn, dan zou de gemiddelde jaartemperatuur op aarde (over alle seizoenen en breedtegraden heen) vandaag -18°C bedragen. De aarde zou eruit zien als een ijsbal en er zou geen leven op deze planeet kunnen bestaan. Maar dankzij de aanwezigheid van broeikasgassen is die gemiddelde jaartemperatuur op aarde 15°C (Ali, 2013). Die broeikasgassen zorgen voor een broeikaseffect en we spreken in deze context van het natuurlijke broeikaseffect. Door de verbranding van steenkool, olie en gas en in mindere mate door ontbossing, zorgen wij als mens voor een stijging van de CO_2 -concentraties in onze atmosfeer. We spreken in deze context over het versterkt of antropogeen broeikaseffect dat bijgevolg leidt tot een verhoging van de gemiddelde jaartemperatuur en wereldwijde klimaatverandering (Greenhouse effect, 2020). Men weet dat de toename van de CO_2 -concentratie die we nu waarnemen, van 315 deeltjes per miljoen (ppm) in 1958 tot 416 ppm vandaag (Earth's CO_2 Home Page, 2020), van menselijke oorsprong is omdat de isotopen-samenstelling van de koolstof in die CO_2 moleculen overeenkomt met de isotopen-signatuur van fossiele brandstoffen (ClimateCentral, 2008). Bovendien meet men tegelijkertijd met de sterke stijging in CO_2 een kleine daling in zuurstof wat betekent dat die CO_2 in de atmosfeer is terechtgekomen door een verbrandingsproces waarbij koolstof aan zuurstof wordt gebonden (Huang et al, 2018).

Voor 1958 heeft men geen directe metingen van CO_2 , maar kan de hoeveelheid CO_2 in de atmosfeer worden afgeleid uit gegevens verkregen uit ijsboringen van Antarctica. Luchtbelletjes in de ijskernen bevatten de samenstelling van onze atmosfeer op het ogenblik dat de ijslaag zich vormde. En op basis van deze data kan men reconstrueren hoe de CO_2 concentratie in de tijd evolueerde. Als men kijkt naar de reconstructie van CO_2 over de laatste 2000 jaar heeft er een sterke stijging plaatsgevonden sinds

het begin van de industriële revolutie. De (nog min of meer natuurlijke) CO₂ concentratie bedroeg toen 280 ppm (IPCC, 2013). De cijfers voor de andere broeikasgassen tonen een gelijkaardige lange-termijn trend, maar hun historische toename is naar verhouding groter (CH₄) of kleiner (N₂O) dan bij CO₂.

Metingen tonen aan dat de gemiddelde jaartemperatuur op aarde ongeveer 1,1 °C is toegenomen t.o.v. het begin van de metingen (de referentieperiode 1850-1900). Wetenschappelijk onderzoek toont aan dat deze historische stijging in temperatuur alleen kan worden verklaard wanneer de antropogene uitstoot van broeikasgassen in rekening gebracht wordt. Men kan dus met zekerheid zeggen dat hoofdzakelijk de menselijke uitstoot van broeikasgassen verantwoordelijk is voor de gemeten opwarming van de aarde sinds de laat-19^{de} eeuw (CarbonBrief, 2019). Maar niet alleen de temperatuurverschillen, ook de snelheid waarmee de aarde opwarmt is zorgwekkend. De aarde warmt nu tien keer sneller op dan de snelste natuurlijke temperatuurstijging ooit geregistreerd, namelijk de abrupte opwarming aan de start van het Holoceen. De huidige concentratie CO₂ in de atmosfeer is nooit eerder voorgekomen in minstens de laatste 3.000.000 jaar (Meinshausen et al., 2017). Zo'n hoge CO₂ concentratie en temperatuurstijging die het veroorzaakt brengt niet enkel het klimaatstelsel maar alle ecosystemen op aarde uit evenwicht. Het kan leiden tot een verschuiving van de klimaatgordels en kan een zeer belangrijke invloed hebben op de frequentie en de ernst van extreme fenomenen in bepaalde regio's, zoals hittegolven en langdurige droogte. De oceanen warmen op, de hoeveelheid sneeuw en ijs neemt af en de zeespiegel stijgt wat een groter overstromingsgevaar betekent in de lager gelegen gebieden. Door de hogere temperaturen zullen ziekten zoals malaria en gele koorts zich verspreiden over een groter deel van de wereld (Brouwers et al., 2015). In Europa wordt een toegenomen frequentie en intensiteit van extreme evenementen (stormen, droogte, hittegolven, overstromingen...) en wijzigende neerslaghoeveelheden verwacht. Indien er geen maatregelen genomen worden, zullen volgens de prognoses van het IPCC tegen 2100 de klimaatgordels in West-Europa met ongeveer 500 km naar het noorden opschuiven. Dergelijke temperatuursveranderingen gingen in het verleden altijd gepaard met een grote uitstervingsgolf onder planten en dieren. Door de ongeziene menselijke invloed op de geologie en ecosystemen van onze planeet sinds de Industriële Revolutie, werd door Paul Crutzen en Eugene Stoermer (2000) de start van een nieuw geologisch tijdperk voorgesteld, genaamd het Antropoceen.

Het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) ontwikkelde vier 'Representative Concentration Pathways' (RCPs) die de toekomstige klimaatverandering simuleren op basis van verschillende scenario's van de toekomstige menselijke uitstoot van broeikasgassen. Er zijn verschillende manieren waarop het klimaat kan evolueren. Bij een normale gang van zaken, m.a.w. het scenario waarbij geen maatregelen worden genomen om de uitstoot te verminderen (RCP8.5), wordt er verwacht dat de gemiddelde jaartemperatuur zal stijgen met 4 °C tegen het einde van de 21^{ste} eeuw,

bovenop de 1.1 °C opwarming die wel al bereikt hebben (IPCC, 2013). Dat is dus vijf graden opwarming in totaal, dat lijkt misschien niet veel maar is in dezelfde grootteorde als het verschil in wereldtemperatuur tussen de pre-industriële periode (tot 1850) en de piek van de laatste ijstijd 20.000 jaar geleden. Tijdens de laatste ijstijd was Noord-Nederland bedekt onder een ijskap en kon men in principe wandelen van België naar Engeland omdat de zeespiegel 125 meter lager stond.

In 2015 werd in Parijs het klimaatakkoord ondertekend waarbij de overheden van 195 landen erkenden dat klimaatverandering een grote bedreiging vormt voor de mensheid en de planeet. Ze gingen akkoord om actie te ondernemen om de opwarming van de aarde tegen te gaan (IPCC, 2018). Concreet omvat dit akkoord drie maatregelen: (1) De stijging van de gemiddelde jaartemperatuur op aarde moet tegen 2100 “duidelijk onder” de twee graden Celsius gehouden worden ten opzichte van de pre-industriële periode. Bijkomende inspanningen zullen worden gedaan om de temperatuurstijging zelfs tot 1,5 graden te beperken. We kunnen hierbij nog eens opmerken dat de gemiddelde jaartemperatuur op aarde nu al één graad hoger ligt dan in de pre-industriële periode. De toename in temperatuur tijdens de komende 80 jaar zou dus niet hoger mogen zijn dan die in de afgelopen 120-170 jaar. Volgens de laatste computersimulaties bereiken we bij een ongewijzigd beleid deze tweegradengrens echter al rond 2036; (2) Om de temperatuurstijging onder de twee graden te houden moet de uitstoot van broeikasgassen drastisch te verminderen; en (3) Ondersteuning van ontwikkelingslanden waarbij de rijke, westerse landen vanaf 2020 elk jaar samen 100 miljard euro in het klimaatfonds zullen storten. Met dit geld kunnen ook ontwikkelingslanden de gevolgen van de klimaatopwarming aanpakken en de eigen strijd tegen verdere klimaatopwarming financieren (Kriegler et al., 2018).

Om deze doelstellingen te bereiken stellen de klimaatwetenschappers volgende maatregelen voor: (1) een sterke daling van de wereldwijde CO₂ uitstoot in de komende 10 jaar, met in de meeste landen een halvering van de CO₂ uitstoot tegen 2030 (ten opzichte van het referentiejaar 1990); (2) wereldwijd klimaatneutraal tegen 2050; en (3) realisatie van een negatieve uitstoot na 2050 (IPCC, 2018). Het verwezenlijken van dergelijke reducties brengt uiteraard aanzienlijke technologische, economische en sociale uitdagingen met zich mee. Toch is het technisch gezien mogelijk om dit te bereiken, maar de beleidsmakers hebben de sleutel in handen om dit waar te maken. Het lukt alleen door het gebruik van steenkool, olie en gas zo snel mogelijk overboord te kieperen en prompt de koolstofarme alternatieven te omarmen (IPCC, 2018). Deze koolstofarme alternatieven vormen de kern van de klimaatoplossing. Ook tien korte termijndoelstellingen werden door klimaatwetenschappers naar voren geschoven om op koers te blijven naar een +1,5 graden wereld (Kuramochi et al., 2018). Dit houdt onder andere in dat in 2035 de laatste wagen aangedreven op fossiele brandstof verkocht wordt, dat vanaf 2020 elk nieuw gebouw op deze planeet klimaatneutraal moet zijn en dat er over enkele jaren wereldwijd netto geen ontbossing meer mag gebeuren. Kortom, klimaatverandering

vormt één van de grootste uitdagingen van deze tijd en de maatregelen die zullen genomen worden als maatschappij in de komend jaren, zullen bepalen in wat voor wereld onze huidige scholieren en hun kinderen en kleinkinderen zullen leven.

1.2 Scholieren en de problematiek van klimaatverandering

Scholieren vragen aandacht voor het klimaat en willen dat politici het onderwerp bovenaan de agenda plaatsen. Zij vragen dat de Belgische overheden de nodige maatregelen nemen om de uitstoot van broeikasgassen drastisch te verminderen zodat de vooropgestelde doelstelling – een koolstofarme samenleving in 2050 – kan worden gehaald. Anderzijds blijkt uit een enquête uitgevoerd door Oproep Voor een Democratische School (OVDS) in 2019 de gemiddelde Vlaamse jongere een beperkte kennis te hebben over de oorzaken, gevolgen en oplossingen van de klimaatkwestie. Er bestaat dus een opvallende tegenstelling: jongeren willen maatregelen nemen en komen in actie zoals de betogingen in Brussel, maar er blijkt toch een fundamenteel tekort te zijn in hun kennis rond klimaatverandering.

Hieronder zet ik enkele treffende resultaten uit dat representatieve onderzoek (3259 leerlingen uit de derde graad van zowel ASO, TSO als BSO middelbaar onderwijs) op een rijtje. Eén op de tien jongeren gelooft niet dat klimaatverandering een feit is. Zes op de tien gelooft dat kerncentrales grote hoeveelheden CO₂ uitstoten. Ook denkt één op de vier dat de zeespiegelstijging het gevolg is van zware regenval. Bijna negen op tien van de Vlaamse jongeren is niet in staat om het broeikas effect uit te leggen en weet niet welke menselijke activiteiten er aan de basis liggen van de klimaatopwarming. Dit resultaat is zelfs slechter dan een gelijkaardige enquête die OVDS uitvoerde in 2015. Nu antwoordt 17,5 procent van de jongeren 'Ik weet het niet' op de vraag wat aan de basis van de klimaatopwarming ligt. Dit is bijna drie keer zoveel als in 2015. 44% van de leerlingen denken het wel te weten, maar kiezen voor een fout antwoord waarbij ze de opwarming foutief linken met het gat in de ozonlaag. Ook buitenlandse studies komen tot dezelfde conclusies: er heersen vele misvattingen onder jongeren als het gaat over de klimaatproblematiek (Chang, 2014). Vaak worden verschillende duurzaamheidsproblematieken verward met elkaar of gaan ze ervan uit dat elke actie die goed is voor het milieu, ook bijdraagt aan een oplossing voor de klimaatopwarming. De vele slogans in de klimaatmarsen over het plastic afval in de oceanen zijn daar een voorbeeld van. Plastic afval in de oceanen doet ons klimaat immers helemaal niet opwarmen, dat is een milieuprobleem en geen klimaatprobleem (Chang, 2014). De klimaatproblematiek is een zeer complex fenomeen: het heeft meerdere oorzaken, vertoont verschillende gevolgen die leiden tot een breed scala van risico's en het omvat een groot aantal mitigatie- en adaptatiestrategieën (Shi et al., 2016). Het is dan ook logisch dat vele jongeren er verkeerde concepten op nahouden.

1.3 Het belang van klimaateducatie

De complexiteit van de klimaatkwesatie vormt een belangrijke uitdaging voor het onderwijs (Mallon, 2015; Léna et al., 2019). Echter, leren over klimaatverandering kan ook kansen bieden voor leerlingen om hun feitelijke kennis te verbeteren, alsook vaardigheden te verwerven om kritisch en probleemoplossend te leren denken (Burke et al., 2018; IAP, 2017; Tolppanen & Aksela, 2018). Volgens de United Nations Educational, Scientific and Cultural Organisation (UNESCO) staat onderwijs centraal in het overdragen van kennis omtrent klimaatverandering en is het een essentieel onderdeel van het wereldwijde antwoord op de klimaatverandering (UNESCO, 2019). Bovendien verklaart de UNESCO dat deze acties de lidstaten ook ondersteunen bij het nakomen van hun verplichtingen in het kader van het VN-verdrag inzake klimaatverandering en de klimaatconferentie van Parijs (2015). Het klimaatakkoord van Parijs (2015) is éénduidig over de rol van klimaatonderwijs als cruciale mitigatiestrategie. Zo stond in artikel 12 van het akkoord dat de deelnemende landen, waaronder België, zich dienden te engageren voor beter klimaatonderwijs.

“Parties shall cooperate in taking measures, as appropriate, to enhance climate change education, training, public awareness, public participation and public access to information, recognizing the importance of these steps with respect to enhancing actions under this Agreement.” (Paris Agreement, Art. 12)

Bovendien staat het onderwijzen van klimaatverandering centraal in de zgn. Sustainable Development Goals (SDG's) van de VN. SDG 13 beoogt om bewustwording te verbeteren met betrekking tot de mitigatie, adaptatie en impactvermindering van klimaatverandering. Het onderwijzen van klimaatverandering draagt ook bij tot SDG 4, dat verwijst naar de gelijke toegang tot kwaliteitsvol onderwijs en het bevorderen van kennis en vaardigheden die nodig zijn om passende maatregelen te nemen voor een meer duurzame levensstijl. De vraag is dus in hoeverre het onderwijs in Vlaanderen klaar is om deze jongeren te wapenen tegen de uitdagingen van de toekomst.

1.4 Tekortkomingen in het educatief systeem met betrekking tot klimaateducatie

1.4.1 Eindtermen

In de beleidsnota 2014-2019 van Hilde Crevits, vorige Vlaamse minister van onderwijs, staat dat ze jongeren wil voorbereiden op de *“behoeften van de 21ste eeuw waarbij ze op een volwaardige manier kunnen participeren in de samenleving”*. Ook de huidige Vlaamse minister van onderwijs, Ben Weyts, schrijft in zijn beleidsnota 2019-2024 om *“ons onderwijs niet alleen te koesteren, maar er ook over te waken dat het klaar is voor de uitdagingen van de toekomst en dat kan alleen maar als we ons onderwijs voldoende sterk maken, als we maximaal ambitieus zijn voor elke lerende en voor iedereen*

die in onderwijs werkt en er vooral voor zorgen dat we topkwaliteit realiseren.” Ondanks deze beleidsnota's, en de vele wetenschappers die het klimaatprobleem omschrijven als “the most delicate societal problem of our times”, slaagt het Vlaamse onderwijs er niet in om jongeren in het algemeen voor te bereiden op actief burgerschap en competenties inzake de klimaatproblematiek en een toekomstige maatschappij geschoeid op grotere duurzaamheid en zorg voor onze planeet. En nochtans heeft België zich met het akkoord van Parijs geëngageerd om daar werk van te maken.

Klimaatverandering en de uitputting van energiebronnen krijgt te weinig aandacht in de officiële referentiekaders (eindtermen, vakoverschrijdende eindtermen, leerplannen). Wat de eindtermen betreft heeft enkel het vak aardrijkskunde enkele raakvlakken met deze materie. Maar dit blijft ook eerder beperkt, naast de andere kennis die de leerlingen dienen te vergaren. Zo wordt enkel een korte verwijzing gemaakt naar het broeikaseffect. Het beperkte aantal uren waarmee de leerlingen daadwerkelijk met deze materie in contact komen, maakt diepgaande feitelijke kennis onmogelijk. Vaak ligt de klemtoon daar op de fysische aspecten van de klimaatopwarming en niet op oorzaak, gevolg en oplossingen, alsook mitigatie en adaptatiemaatregelen. In 2010 werden nieuwe vakoverschrijdende eindtermen ‘duurzame ontwikkeling’ ingevoerd. Duurzaamheid is een heel breed begrip en mist een zekere precisie. Zo komt het woord ‘klimaatverandering’, ‘klimaatopwarming’ of ‘opwarming van de aarde’ er niet in voor, terwijl dit toch een belangrijk thema is binnen duurzame ontwikkeling. Ook de manier waarop het onderwerp aan bod moet komen, wordt niets over gezegd. Deze vaagheid zorgt ervoor dat leerkrachten dit niet structureel inbrengen in hun lessen omdat het toch nergens expliciet in de leerplannen terug te vinden is. In het beste geval engageert een individuele leerkracht of school zich hiervoor, o.a. door het verwerken van klimaatkennis in het curriculum of met een project gerelateerd aan de klimaatkwesitie. Zonder structurele aanpassing in de eindtermen, kan niet worden verondersteld dat leerkrachten dit als cruciaal onderwerp in hun curriculum verwerken en verandert er dus ook niets aan de kennis die jongeren erop nahouden. Zo stelt Boussemaere (2016) voor om klimaatwetenschap concreet en helder in de eindtermen te plaatsen en ze doordacht en telkens aangepast aan het niveau van de leerling door de schoolcarrière te weven. Dit wordt ook aanbevolen door het recente All European Academies (ALLEA)-rapport, opgesteld door de ALLEA-werkgroep voor Wetenschapsonderwijs en onderdeel van het wetenschapsnetwerk Inter Academy Partnership (IAP). ALLEA vertegenwoordigt meer dan 50 academies uit 40 EU- en niet-EU-landen met als doel om interdisciplinair wetenschappelijk advies te geven en om de rol van wetenschap in de samenleving te versterken. De ALLEA-werkgroep voor wetenschapsonderwijs zet zich in voor de verdere ontwikkeling van wetenschapsonderwijs in heel Europa om ervoor te zorgen dat studenten de nodige kennis, vaardigheden en motivatie ontwikkelen om deel te nemen als actieve burgers en om een carrière in de wetenschap na te streven. Dit rapport bevat een aantal aanbevelingen omtrent

klimaatwetenschap die grotendeels betrekking hebben op het basis- en secundair onderwijs, met enige verwijzing naar het hoger onderwijs. De modernisering van het onderwijs en de hervorming van de eindtermen lijkt daar niets aan te veranderen. Recent werden alle onderwijsdoelen voor de tweede en derde graad secundair onderwijs goedgekeurd door de Vlaamse regering. Deze worden stelselmatig ingevoerd vanaf het schooljaar 2021-2022. Ook hier wordt niet expliciet verwezen naar 'klimaatverandering', 'klimaatopwarming' of 'opwarming van de aarde'.

1.4.2 Ondersteuning leerkrachten

Daarnaast is het van fundamenteel belang dat leerkrachten de mogelijkheid krijgen om hun leerlingen een zeker klimaatgeletterdheid bij te brengen zodat ze beter voorbereid zijn op grote uitdagingen. Uit recent onderzoek blijkt ook dat leerkrachten en docenten, onder de vele andere 'boodschappers van kennis' aanwezig in de informatiemaatschappij, het meest vertrouwd worden door de jeugd (Corner et al., 2015; Chawla, 2009 & Duarte et al., 2015). Het onderwijs heeft bekwame leerkrachten nodig die didactische activiteiten aanbieden om klimaatwetenschap verstaanbaar te maken. Om dit te kunnen verwezenlijken moeten leerkrachten kritisch zijn over de misvattingen die er bestaan over de klimaatopwarming en vaardigheden verwerven om die eventuele misvattingen weg te werken (Boon, 2016). Deze verwachtingen zijn nog niet in lijn met wat we in Vlaanderen waarnemen. Hoewel er van leerkrachten wordt verwacht dat ze zich engageren om klimaatkennis te onderwijzen en dat ze beter geïnformeerd zijn dan hun leerlingen, blijkt ook hun kennis ondermaats te zijn. Dit werd aangetoond in een studie uitgevoerd door Pieter Boussemaere, docent geschiedenis en klimaat aan de hogeschool Vives (Boussemaere, 2016). Deze bevraging is tevens het eerste en enige Belgische onderzoek naar de klimaatkennis van leerkrachten in opleiding. Een enquête werd afgenomen bij 430 studenten in de lerarenopleiding waarvan 40% uit de opleiding leraar lager onderwijs en 60% leraar secundair onderwijs. De resultaten van die enquête wezen erop dat ook toekomstige leerkrachten niet over voldoende kennis en inzicht beschikken als het gaat over de klimaatproblematiek (Boussemaere, 2016). Zo wijst Boussemaere (2016) erop dat 60% van de leerkrachten het gat in de ozonlaag verwarren met het broeikas effect. Daarnaast kent slechts één op vijf Vlaamse leerkrachten in opleiding de correcte werking van het broeikas effect, en kan slechts de helft van de deelnemers twee broeikasgassen opsommen. Vrijwel niemand van de leerkrachten in opleiding weet dat kernenergie een klimaat-neutrale energiebron is. Ook de kennis van mogelijke oplossingen lijkt bijgevolg ondermaats te zijn. Er blijkt ook vaak verwarring te zijn met andere duurzaamheidsproblematieken: 40% is ervan overtuigd dat een actie voor het milieu (bv. papiertje oprapen) ook bijdraagt aan de actie tegen klimaatopwarming (Boussemaere, 2016). Ook verschillende internationale studies naar de klimaatinzichten van (toekomstige) leerkrachten uit andere landen bereiken gelijkaardige conclusies

(Chang, 2014). Over het algemeen kan geconcludeerd worden dat de gemiddelde (toekomstige) leerkracht er dezelfde misvattingen op nahoudt als zijn/haar (toekomstige) leerlingen. Bijgevolg zijn de Vlaamse leerkrachten in opleiding globaal gezien niet voldoende gewapend om de klimaatproblematiek op een correcte wijze te onderwijzen. Algemeen is er een vreemde kennisparadox zichtbaar bij zowel Vlaamse toekomstige leerkrachten als bij de gemiddelde Belg en Europeaan (Leiserowitz et al., 2010). Ze denken voldoende te weten over de klimaatkwestie, maar wanneer er effectief naar gepeild wordt blijkt dit niet het geval (Boon, 2016). Deze tegenstelling tussen lage feitelijke kennis en overschatting van eigen kennis kan een struikelblok vormen om meer informatie te gaan opzoeken en om deze informatie ook correct in de lessen te integreren.

Volgens de enquête van Boussemaere (2016) zijn er specifieke tekorten in de lerarenopleiding met betrekking tot klimaatkennis. Toch wordt er niet met de vinger gewezen aangezien deze opleiding ook tal van andere maatschappelijk relevante onderwerpen dient te behandelen. Bovendien is de klimaatkwestie een complexe materie die een gestructureerd verloop kent, startende van de basisschool doorlopend tot het secundair onderwijs. Op die manier hoeft er in de lerarenopleiding niet van nul gestart te worden, maar volstaat een opfrissing en actualisering van de materie waarbij ook didactische principes omtrent het onderwijzen van deze kwestie meer aandacht kan krijgen (Boussemaere, 2016). Het is dus belangrijk om onderwijsmateriaal en programma's in verband met de klimaatverandering te ontwikkelen voor de eerste jaren van het onderwijs (Rooney, 2018; Do Nascimento, 2019). Dergelijke programma's hoeven zich nog niet te focussen op de details van de klimaatverandering, ze zouden zich bijvoorbeeld kunnen richten op de verschillen tussen klimaat en weer. Het accent van de programma's kan dan geleidelijk aan verschuiven van lokaal (in de basisschool) naar meer globale niveaus (in de middelbare school en hogescholen) (ALLEA, 2020). Daarnaast moet er meer aandacht besteed worden aan initiatieven die leraren professionele ontwikkeling bieden om hen te ondersteunen bij het onderwijzen van klimaatverandering. Uit onderzoek blijkt dat bijscholing op het gebied van klimaatverandering het vertrouwen van de leerkrachten, de vakkennis, de pedagogische kennis en de klaspraktijk verbetert (Darling-Hammond et al. 2017; Desimone 2009). Leerkrachten met een degelijke klimaatkennis zijn bijvoorbeeld veel sneller geneigd om de klimaatproblematiek in hun lessen te integreren en eigen leer materiaal te ontwikkelen (Poulou, 2007). Als leerkrachten er zelf oplossing-gerelateerde ideeën op nahouden, vertaalt zich dat ook meteen in de manier waarop leerlingen over de klimaatproblematiek denken en ermee omgaan (Ojala, 2015).

De toenemende belangstelling voor en behoefte aan effectief onderwijs over klimaatverandering creëren een geschikte gelegenheid om na te gaan welke inhoudend educatief lesmateriaal moet bevatten en volgens welke didactische principes dit moet worden onderbouwd.

2. Doel en onderzoeksvragen van deze scriptie

De complexiteit van de klimaatkwestie vormt een belangrijke uitdaging voor het onderwijs (Mallon, 2015; Lena, Lescamontier, Wilgenbus, 2019). Echter, leren over klimaatverandering kan ook kansen bieden voor leerlingen om hun feitelijke kennis te verbeteren, alsook vaardigheden te verwerven om kritisch en probleemoplossend te leren denken (Burke et al., 2018; IAP, 2017; Tolppanen & Aksela, 2018). Er bestaan reeds diverse educatieve pakketten die kunnen helpen om klimaatlessen te integreren in het onderwijs. In de meeste ervan wordt een grote hoeveelheid informatie verschaft, wat er voor zorgt dat ze niet makkelijk te implementeren zijn door de leerkracht. Daarnaast blijkt niet alle informatie altijd correct te zijn. Om te komen tot degelijk klimaatonderwijs moet er aandacht worden besteed aan wetenschappelijk correcte en didactisch sterk onderbouwde educatieve pakketten die leerkrachten kunnen gebruiken in hun lessen. Leerkrachten hebben nood aan haalbaar in te bouwen pakketten, die hen duidelijke opties geven van hoe ze klimaatlessen in hun curriculum kunnen integreren. Dit zal ook bijdragen tot de meeste leerwinst bij leerlingen. In deze context kan ik het doel van dit scriptie-onderzoek als volgt formuleren:

- (1) Met behulp van een enquête inzicht te verkrijgen in de klimaatkennis bij jongeren;
- (2) Via kwalitatief onderzoek nagaan aan welke leerinhouden en didactische principes toekomstige leermiddelen omtrent klimaatverandering moeten voldoen;
- (3) Een educatief pakket voor leerkrachten ontwikkelen dat voortbouwt op de juiste en foute keuzeantwoorden van de enquête om correcties voor veel voorkomende misvattingen in het lesmateriaal te integreren
- (4) Een suggestie te doen van hoe het op gepaste didactische principes gebaseerde educatief pakket in een klimaatles kan worden geïntegreerd

3. Methodes van het onderzoek

3.1 Enquête voor peiling van klimaatkennis bij leerlingen 3^{de} graad

Vooreerst werd een enquête opgesteld om te peilen naar klimaatkennis van leerlingen in de derde graad secundair onderwijs, gebaseerd op de enquêtes van OVDS (2019) en Boussemaere (2016). Deze vragenlijst (Bijlage 1) bevat 22 vragen die peilen naar kennis over de oorzaken, gevolgen (toekomst en verleden), oplossingen en beleid van de klimaatverandering. Deze enquête zou worden voorgelegd aan alle leerlingen van de derde graad ASO van één school, de Sint-Bavo humaniora in Gent (in totaal ca. 1200 leerlingen), in de context van een op school georganiseerde activiteit als alternatief voor klimaatspijbelen. Bij analyse van de resultaten zou in het bijzonder een vergelijking worden gemaakt tussen de resultaten van de verschillende ASO-richtingen, en tussen het 5^{de} en 6^{de} jaar. De omvang van elke groep leerlingen (en dus de omvang van elke steekproef) varieert op deze school tussen één en drie klassen, dus naar schatting tussen de 20 en >60 leerlingen.

Oorspronkelijk zouden in een **eerste fase** alle leerlingen deze enquête individueel invullen onder toezicht van de leerkracht, zonder onderling overleg en zonder gebruik van bronnen. Er wordt immers gekeken naar parate kennis en inzicht dus het gebruik van externe bronnen was niet toegelaten. Deze eerste fase zou ongeveer 30 minuten in beslag nemen.

In een **tweede fase** zouden alle leerlingen samen de lezing '*Klimaatverandering: feiten, mythes en mistgordijnen*' bijwonen van UGent klimaatwetenschapper Prof. Dirk Verschuren, die eerder al in een 10-tal andere Vlaamse scholen werd gebracht. Daarna zou een publieke Q&A sessie worden voorzien waarin open vragen van de leerlingen in verband met de klimaatproblematiek worden beantwoord. Deze vragen kunnen dus direct verband houden met de lezing zelf, maar ook met onderdelen van de enquête die niet specifiek in de lezing worden behandeld. Deze tweede fase zou in totaal ongeveer 90 minuten in beslag nemen.

In een **derde fase** zou de enquête opnieuw worden voorgelegd aan dezelfde groep leerlingen, om te zien hoe het gemiddelde en de spreiding van de scores opschuift, alsook de relatieve frequentie van bepaalde foute antwoorden. Op die manier kunnen we nagaan in welke mate de lezing en daaropvolgende Q&A sessie hun algemene klimaatkennis heeft verbeterd. Op basis van de resultaten kon ook een vergelijking gemaakt worden met de resultaten van de OVDS (2019) enquête.

Door invoering van coronamaatregelen konden leerlingen vanaf 16 maart niet meer naar school en werd gezocht naar een alternatief. Er werd een online versie van de enquête opgesteld, die door de leerlingen thuis zou kunnen worden opgelost, met een tijdlimiet zodat ook hier zo goed mogelijk hun parate kennis zou worden getest. Leerlingen zouden daarna een opgenomen versie van de

bovenvermelde lezing te zien krijgen en achteraf via e-mail vragen kunnen stellen die dan beantwoord zouden worden. In een derde fase zou hen worden gevraagd om dezelfde online enquête opnieuw in te vullen. Ook in deze online versie zou elke fase op zichzelf staan: eerst wordt de link van de enquête bezorgd (zie url: <https://forms.gle/yWpdRk2tSPq1d7dv6>), pas nadat de enquête is opgelost wordt de link naar de lezing bezorgd, en pas daarna wordt meegedeeld dat er nog een derde fase volgt.

Net toen de online versie van de enquête klaar was beslisten de Nationale Veiligheidsraad en onderwijskoepels dat de secundaire scholen dit academiejaar geen nieuwe leerstof meer zouden aanbieden, en was er ook weinig ruimte voor activiteiten buiten het reguliere leerplan. Dit maakte het voor leerkrachten moeilijk om deze enquête nog aan te bieden aan de leerlingen. Naast Sint-Bavo werden ook andere scholen gecontacteerd, maar omwille van de coronaproblematiek konden geen eigen nieuwe enquêteresultaten in deze thesis worden opgenomen.

3.2 Lessenpakket klimaatkennis 1: verbetersleutel van de enquête

Op basis van de resultaten van de voorgelegde enquête zou een lessenpakket ontwikkeld worden om leerkrachten te helpen de klimaatkennis van leerlingen bij te spijkeren. Door het ontbreken van eigen resultaten werd hiervoor voortgebouwd op de verondersteld representatieve resultaten van de enquêtes van OVDS (2019) en Boussemaere (2016), waar mijn enquête op is gebaseerd. Specifiek werd op basis van op het internet beschikbare informatie een volledige verbetersleutel uitgeschreven bij alle juiste en foute keuze-antwoorden van de enquête, zodat duidelijk wordt precies waarom een bepaald antwoord juist of fout is. Dit is belangrijk, want door de complexiteit van de materie gebeurt het vaak dat een ogenschijnlijk juist antwoord fout is, en omgekeerd. De verbetersleutel duidt dus niet enkel het juiste antwoord, maar scherppt ook de aandacht voor herkenning van feitelijke onjuistheden in een stelling. In die zin vormt de leerinhoud van deze verbetersleutel al een lessenpakket op zich. Wanneer een leerling (of leraar) al deze vragen correct kan beantwoorden, kan zijn/haar klimaatkennis als zeer OK worden beschouwd.

3.3 Literatuuronderzoek

Een tweede luik van het praktisch werk voor deze thesis kon uitgevoerd worden zoals gepland. Hierin werd via literatuuronderzoek werd nagegaan aan welke inhoud en didactische principes toekomstige leermiddelen omtrent klimaatverandering moeten voldoen. Dit literatuuronderzoek werd opgesplitst in twee deelvragen:

(1) Welke kennis en inzichten zijn fundamenteel als antwoord op de klimaatproblematiek, m.a.w. welke inhoud moet het lesmateriaal bevatten om klimaatneutraal gedrag te bevorderen?

(2) Volgens welke didactische principes moet dit onderbouwd worden?

3.4 Lessenpakket klimaatkennis 2: behandeling van misvattingen in de actualiteit

In een derde luik werd een mogelijk onderwijspakket ontwikkeld gebaseerd op voorgaand literatuuronderzoek, dat tot doel heeft de zelfzekerheid van de leerkracht te versterken om het onderwerp klassikaal aan te pakken en om hen in staat te stellen feit en fictie in het klimaatdebat van elkaar te onderscheiden.

4. Resultaten en Discussie

4.1 Enquête voor peiling van klimaatkennis bij leerlingen 3de graad

Zie Bijlage 1 voor de hard-copy versie van de enquête (22 vragen) die in de klas kan worden ingevuld, door elke leerling afzonderlijk en onder toezicht van een leerkracht.

Zie url: <https://forms.gle/yWpdRk2tSPq1d7dv6> voor de online versie van dezelfde enquête, die door elke leerling thuis kan worden ingevuld, onder tijdsbeperking zodat ook hier zo goed mogelijk de parate kennis wordt getoetst.

4.2 Lessenpakket klimaatkennis 1: verbeter sleutel van de enquête

Zie bijlage 2 voor uitgewerkte duiding bij de correcte en foute antwoorden op de gestelde vragen.

4.3 Welke kennis en inzichten zetten aan tot klimaatneutraal gedrag?

Een belangrijke vraag die kan gesteld worden is wat de meerwaarde is om in te zetten op klimaatkennis in het onderwijs. Zet dit ook automatisch aan tot verantwoord klimaatgedrag? Een aantal studies tonen het belang aan van kennis om te komen tot klimaatvriendelijk gedrag (Reynolds et al., 2010; Read et al., 1994; Cordero et al., 2008; Devine-Wright et al., 2004; Lester et al., 2006; Pruneau et al., 2003). Andere studies wijzen erop dat men niet mag verwachten dat kennis over verantwoord klimaatgedrag zich automatisch doorzet in het uitvoeren van dat gedrag (Leiserowitz et al., 2006; Menny et al., 2011). In deze onderzoeken wordt 'kennis' niet concreet gedefinieerd. Nochtans is dit een belangrijk gegeven aangezien er vele vormen van kennis bestaan. Het onderzoek van Shi et al. (2016) toont bijvoorbeeld aan dat kennis van de fysische aspecten van klimaatopwarming, zoals de diverse componenten van de koolstofcyclus of de exacte golflengtes waarop CO₂ het meest actief is, nauwelijks invloed heeft op iemands actiebereidheid. Andere studies onderscheiden twee inzichten die van belang zijn om actiebereidheid te tonen.

1) Kennis van de oorzaken. Het is noodzakelijk om te weten waarom de antropogene emissie van broeikasgassen verantwoordelijk zijn voor de huidige opwarming van de aarde en welke menselijke activiteiten deze extra uitstoot veroorzaken. Pas dan kunnen de gevolgen van het eigen gedrag

begrepen worden (Pongiglione, 2012; Chang, 2014). Daarnaast leidt een goede kennis van de oorzaken tot minder scepticisme over klimaatverandering (Tobler et al., 2012). Bijkomend zorgt het ook voor beter inzicht in de kwetsbaarheid van de bevolking voor klimaat-gerelateerde gevaren (Wolf & Moser, 2011).

2) Procedurele kennis of actie-gerelateerde kennis behandelt de vraag hoe een bepaald doel kan bereikt worden. Daaronder verstaat men concreet het aanbieden van oplossingen en acties om minder broeikasgassen uit te stoten (Kaiser & Fuhrer, 2003). Het ALLEA-rapport dat werd opgesteld door de werkgroep wetenschapseducatie, onderdeel van het wetenschapsnetwerk Inter Academy Partnership (IAP), bevat enkele aanbevelingen op basis van een online enquête van bestaande initiatieven, aangevuld met educatieve onderzoeksliteratuur en de expertise van de wetenschappers die dit werk hebben uitgevoerd. Zij tonen aan dat het onderwijzen van mitigatie- en adaptatiemaatregelen een cruciaal onderdeel zou moeten uitmaken. Op die manier worden leerlingen beter voorzien van fundamentele inzichten om kwetsbaarheid van hun leefomgeving voor klimaatverandering te verminderen (adaptatie) en doelgerichter maatregelen te kunnen nemen om de omvang en snelheid van de klimaatverandering te beperken (mitigatie) (ALLEA, 2020). De IPCC-rapporten kunnen hierbij helpen. Deze worden regelmatig bijgewerkt met meest recente ontwikkelingen in de klimaatwetenschap en mogelijke oplossingen voor mitigatie en adaptatie.

Iemand's bezorgdheid over de klimaatopwarming blijkt samen te hangen met zijn/haar kennis van de gevolgen, maar heeft minder effect op het ondernemen van actie (Tobler et al., 2012). Een minimum aan relevante klimaatkennis blijkt een belangrijke predictor te zijn voor klimaatneutraal handelen bij jongeren (Meinhold & Malkus, 2005; Harker-Shuch & Bugge-Henriksen, 2013), studenten hoger onderwijs (Levine & Strubbe, 2012) en in het algemeen (Heberlein, 2012; Lee, 2015). Kennis van de wetenschappelijke feiten is ook fundamenteel belangrijk om 'fake news' als dusdanig te kunnen onderscheiden (Braten et al., 2011). Ook het onderzoek van OVDS (2019) en Boussemaere (2016) draagt bij tot het identificeren van de misvattingen die er heersen bij leerlingen en leerkrachten in opleiding, specifiek voor wat Vlaanderen betreft. Voortbouwend op deze opvattingen en misvattingen kan een leerplan opgesteld worden met de belangrijkste inhoud.

Educatieve onderzoeksliteratuur toont aan dat lessenreeksen omtrent klimaatopwarming volgende inhoud zouden moeten bevatten: oorzaken, gevolgen, en oplossingen in de vorm van mitigatie- en adaptatiestrategieën (Chang, 2014). Sommige onderzoekers pleiten ook om klimaatverandering in het (verre) verleden te betrekken bij lessenreeksen, waaronder Boussemaere (2016). Het draagt bij om weer- en klimaatpatronen van elkaar te kunnen onderscheiden, en het verhoogt het besef dat de huidige klimaatopwarming uitzonderlijk en verontrustend is (Chang, 2014; Lombardi & Sinatra, 2013).

Het kan bovendien bijdragen aan het in perspectief plaatsen van de snelheid waarmee de aarde momenteel opwarmt en te begrijpen dat de tijdsfactor cruciaal is in de klimaatkwesitie (Boussemaere, 2016). Volgens welke didactische principes deze inhoud moet worden aangereikt, wordt in het volgende hoofdstuk besproken.

4.4 Pedagogische strategieën

De belangstelling voor het onderwijzen van klimaatverandering is de afgelopen jaren toegenomen. Dit weerspiegelt zich ook in de toename van publicaties over klimaatveranderingseducatie over de hele wereld: van 12 publicaties in de periode 1990-1999 tot 1489 in de periode 2010-2015, op basis van de zoektermen 'klimaatverandering' en 'educatie' (Monroe et al., 2019). Daarnaast bestaan er reeds veel educatieve pakketten die kunnen helpen om klimaatlessen te integreren in het onderwijs. In vele pakketten wordt een grote hoeveelheid informatie verschaft. Toch blijkt niet alle informatie altijd correct te zijn. Dit leidt ertoe dat vele van deze pakketten niet makkelijk door de leerkracht te implementeren zijn. Leerkrachten worden geconfronteerd met vele uitdagingen bij het lesgeven over klimaatverandering. Leermiddelen zouden leerkrachten moeten ondersteunen bij de ontwikkeling van hun pedagogisch-inhoudelijke kennis over klimaatverandering (Shulman, 1986). Dus is de vraag welke didactische principes het meest effectief zijn in het onderwijzen van klimaatverandering.

Op basis van literatuuronderzoek kunnen vijf onderwijsstrategieën worden onderscheiden die effectief zijn gebleken in het onderwijzen van klimaatverandering:

(1) De belangrijkste factor die het succes van de onderwijsinstructie vergroot is het persoonlijk relevant en zinvol maken van informatie over klimaatverandering (CRED 2009; Dilling en Moser 2007; Wibeck 2014). Concreet houdt dit in dat lessen en leertaken relevant en betekenisvol moeten zijn (Marzano & Miedema, 2005). Leerlingen die het nut ervaren van wat zij doen, zijn meer gemotiveerd. Kennis moet in een context geplaatst worden.

(2) Programma's worden specifiek ontworpen om misvattingen over klimaatverandering aan het licht te brengen en aan te pakken (Baker et al., 2013; Karpudewan et al., 2015; Mason & Santi, 1998); en

(3) De leerkrachten gebruiken discussie om de leerlingen te helpen hun eigen en andermans standpunten en kennis over de klimaatverandering beter te begrijpen (Klosterman & Sadler, 2010; Mason & Santi, 1998; Lambert & Bleicher, 2014);

(4) Leerlingen krijgen de kans om met wetenschappers te communiceren en het wetenschappelijke proces zelf te ervaren (Faria et al. 2015; Hallar et al., 2011);

(5) Leerlingen worden betrokken bij het ontwerp en uitvoering van school- of gemeenschapsprojecten om één of ander aspect van de klimaatverandering aan te pakken (Leigh, 2009, Zografakis et al., 2008; Stapleton, 2015; Pruneau et al. 2003).

De eerste stap in de ontwikkeling van educatief materiaal rond klimaatverandering is het vastleggen van de leerinhoud. In opvolging van bovenvermelde aanbevelingen (sectie 4.3) werd de enquête zo opgesteld dat zowel de oorzaken, de gevolgen als de oplossingen van de klimaatkwesitie worden behandeld (Chang, 2014). Daarnaast komen in de onderwijsvorm enquête ook de **3^{de}**, **4^{de}** en **5^{de}** van de hierboven vermelde onderwijsstrategieën aan bod. Hieronder wordt een lesvoorbeeld uitgewerkt waarbij de focus ligt op de **1^{ste}** en **2^{de}** van de hierboven vermelde onderwijsstrategieën.

(1) Persoonlijk relevant en actueel. Concreet houdt dit in dat lessen en leertaken relevant en betekenisvol moeten zijn (Marzano & Miedema, 2005). Wanneer leerlingen het nut ervaren van wat zij doen, zijn ze meer gemotiveerd.

(2) vertrekkende van misvattingen. Zoals in de inleiding (sectie 1.2) reeds werd aangehaald, bestaan onder leerlingen secundair onderwijs (en hun leraars) heel wat misvattingen over klimaatverandering. Verscheidene studies hebben zich specifiek gericht op het wegwerken van die misvattingen. Eén mogelijke strategie om ze uit de weg te ruimen is het gebruik van een constructivistische benadering die gericht is op geleide discussies onder studenten (Karpudewan et al., 2015; Mason & Santi, 1998). Een andere effectieve manier om foutieve redeneringen aan te pakken, is het gebruik van onderzoekend leren als didactische strategie. Het is een instructiemethode die omschreven kan worden als het leren door middel van een onderzoekende houding. Het belang van onderzoekend leren in de ontwikkeling van wetenschappelijke geletterdheid van jongeren is goed gedocumenteerd (Artigue et al., 2012; Harlen, 2012; Rocard et al., 2007). Onderzoek toont aan dat deze methode de wetenschappelijke inzichten en vaardigheden van jongeren ondersteunt, de belangstelling en motivatie voor de wetenschap verhoogt, de samenwerking ondersteunt, het kritisch denken en wetenschappelijk redeneren bevordert en probleemoplossende vaardigheden promoot (Artigue et al. 2012; Harlen 2012; Murphy et al. 2019). Onderzoek toont aan dat een grotere leerwinst wordt gemaakt wanneer lessen zijn ontworpen op basis van Aebli's (1983) criteria om constructivistisch leren te bevorderen. Deze criteria zijn (1) beginnen met de voorkennis van de studenten; (2) complexe processen ontwarren tot een reeks van opeenvolgende stappen die op zich rechtlijnig en bevatbaar zijn; en (3) de inhoud reduceren tot bepaalde essentiële concepten, m.a.w. het vermijden van 'overload' aan informatie in een te korte tijdsperiode.

4.5 Lessenpakket klimaatkennis 2: behandeling van misvattingen in de actualiteit

Er werd gekozen voor een TV-interview met Jean-Marie Dedecker (voormalig VLD- en NVA-politicus; momenteel burgemeester van Middelkerke) waaruit klimaatscepticisme en klimaatrelativisme blijken. Er wordt dus gestart vanuit een actuele en relevante maatschappelijke discussie. Om zo een discussie te voeren is het belangrijk om de wetenschappelijke inzichten goed in beeld te hebben. In het fragment worden een aantal misvattingen verkondigd. De meeste van deze stellingen kunnen al worden weerlegd op basis van het educatief pakket in de vorm van de verbeter sleutel bij de enquête. Toch wordt hier per stelling nog aparte feedback voorzien. Ook wordt bij elke stelling vermeld bij welke vraag in de enquête ze aansluit. Volledige uitwerking is te vinden in Bijlage 3.

5. Algemene discussie en nabeschuiving

Uit de literatuur om de verdere ontwikkeling van klimaateducatie te optimaliseren kunnen enkele pertinente lessen getrokken worden:

1) Er zijn heel wat educatieve pakketten beschikbaar die vaak een (te) grote hoeveelheid informatie verschaffen, en die tevens niet altijd correct blijkt te zijn. Dit maakt het moeilijk voor leerkrachten om inhoud te selecteren die geschikt zijn voor hun klaspraktijk. Educatieve pakketten zouden meer moeten inzetten op ondersteuning van leerkrachten voor de ontwikkeling van hun eigen inhoudelijke en pedagogische kennis over klimaatverandering.

2) Er zijn hiaten in de leeftijdscategorieën waarop de initiatieven zich richten. Het merendeel richt zich op leerlingen van het hoger basisonderwijs en het secundair onderwijs, maar zeer weinig initiatieven richten zich op (het kleuter-) en eerste jaren van het basisonderwijs. Uit recente literatuur blijkt dat het belangrijk is om onderwijsmateriaal en programma's in verband met de klimaatverandering te ontwikkelen voor de eerste jaren van het onderwijs (Rooney 2018; Do Nascimento 2019). Dergelijke programma's zouden niet noodzakelijkerwijs beginnen met de details van de klimaatverandering. In de eerste jaren van het onderwijs zou het zich kunnen richten op de verschillen tussen klimaat en weer en ook op wat kinderen zelf kunnen doen om zorgzaam met de planeet om te springen, in plaats van zich te richten op diepgaande aspecten van klimaatverandering.

3) Klimaatopwarming moet in de eindtermen verwerkt worden, zowel op vlak van oorzaken, gevolgen en oplossingen. Recent werden alle onderwijsdoelen voor de tweede en derde graad secundair onderwijs goedgekeurd door de Vlaamse regering. Deze worden stelselmatig ingevoerd vanaf het schooljaar 2021-2022. Ook hier wordt nog steeds niet expliciet verwezen naar 'klimaatverandering', 'klimaatopwarming' of 'opwarming van de aarde'. Dit zorgt ervoor dat leerkrachten dit niet structureel

inbrengen in hun lessen omdat het toch nergens in de leerplannen terug te vinden is. Dit zorgt ervoor dat educatieve pakketten die aangeboden worden, niet tot zijn volste recht komen.

4) Er is nood aan een aparte klimaatleerlijn, los van de sleutelcompetentie duurzaamheid, waarbij klimaat structureel onderwezen wordt vanaf het basisonderwijs en doorlopend in het secundair onderwijs (ALLEA, 2020). Zo weet men zeker dat alle leerlingen gericht nadenken over het klimaatprobleem en over oplossingen. Bijvoorbeeld welke energietransitie is nodig en waarom? Wat zijn de alternatieven voor fossiele brandstoffen? Hoe ziet het elektriciteitsnet eruit op globaal, Europees en regionaal niveau? Het klimaat zou ook kunnen behandeld worden in het nieuwe vak burgerschap. Een gestructureerde didactische opbouw van zo een klimaatlijn vermijdt verwarring met andere duurzaamheidsproblematieken of milieukwesties zoals water- en afvalproblematiek (Boussemaere, 2016). Ook binnen de lerarenopleidingen zou een deel rond klimaatverandering kunnen onderwezen worden zodat leraren op zijn minst het verschil met milieu- en andere problemen kunnen duiden. Pas als dat verschil duidelijk is, kan er vakoverschrijdend gewerkt worden om verbanden te leggen.

5) Er lijkt een gebrek te zijn aan initiatieven professionele ontwikkeling die leraren ondersteunen bij het onderwijzen van klimaatverandering. Er moet meer aandacht worden besteed aan de ontwikkeling, uitvoering en beoordeling van hoogwaardige professionele ontwikkelingsprogramma's voor leerkrachten. Onderzoek zou dan kunnen uitwijzen of deze programma's in professionele ontwikkeling effect hebben op het vertrouwen en de competentie van leerkrachten enerzijds en het effectief leren van leerlingen over klimaatverandering anderzijds. De bevindingen van het (literatuur-) onderzoek in deze thesis zouden kunnen dienen als basis voor de ontwikkeling van doeltreffende programma's voor professionele ontwikkeling. Zo een professionele bijscholing zorgt ervoor dat de vakkennis, pedagogische kennis en het vertrouwen van leerkrachten verbeteren (Darling-Hammond et al. 2017; Desimone 2009). Op die manier zouden educatieve pakketten die ontwikkeld worden ook meer gebruikt worden door de leerkrachten.

6. Bibliografie

- Ali, M. (2013). The greenhouse effect. In climate change impacts on plant biomass growth. *Springer: Dordrecht Heidelberg New York London*, 13-27.
- Aebli, H. (1983). Zwölf Grundformen des Lehrens: Eine Allgemeine Didaktik auf Psychologischer Grundlage [Twelve Basic Methods of Teaching: General Didactics Based on Psychology]. Stuttgart: Klett.
- ALLEA (2020). A snapshot of Climate Change Education Initiatives in Europe: Some initial findings and implications for future Climate Change Education research. Lead authors: Cliona Murphy, Gabriela Martinez Sainz, Maija Aksela, Gerd Bergman, Michael Jones, Pierre Lena, David Wilgenbus. Berlin.
- Artique, M., Harlen, W., Lena, P., Baptist, P., Dillon, J., Jasmin, D. (2012). The legacy of the Fibonacci Project to science and mathematics education.
- Baker, Jillian, Jason Loxton, and Kate Sherren. 2013. "Using Art Elicitation to Deliver and Evaluate a Grade 4 Climate Change Instructional Module." *Applied Environmental Education & Communication* 12 (2): 130–142.
- Boon, H. J. (2016). Pre-Service Teachers and Climate Change: A Stalemate? *Australian Journal of Teacher Education*, 41(4), 39–63.
- Boussemaere, P. (2016). De aarde warmt op door een gat in de lucht. Een onderzoek naar de klimaatkennis van de Vlaamse leerkracht in opleiding. VIVES hogeschool Brugge.
- Bråten, I., Strømsø, H. I., & Salmerón, L. (2011). Trust and mistrust when students read multiple information sources about climate change. *Learning and Instruction*, 21(2), 180–192.
- Broothaerts, N., Verstraeten, G., Notebaert, B., Assendelft, R., Kasse, C., Bohncke, S., Vandenberghe, J. (2013). Sensitivity of floodplain geoecology to human impact: a Holocene perspective for the headwaters of the Dijle catchment, central Belgium. *Holocene*, 23, 1403–1414.
- Broothaerts, N., Verstraeten, G., Kasse, C., Bohncke, S., Notebaert, B., & Vandenberghe, J. (2014). From natural to human-dominated floodplain geoecology—A Holocene perspective for the Dijle catchment, Belgium. *Anthropocene*, 8, 46-58.
- Brouwers, J., Peeters, B., Van Steertegem, M., van Lipzig, N., Wouters, H., Beullens, J., ... Cauwenberghs, K. (2015). MIRA Klimaatrapport 2015, over waargenomen en toekomstige klimaatveranderingen. In *Vlaamse Milieumaatschappij i.s.m. KU Leuven, VITO en KMI*.
- Burke, S.E.L., Sanson, A.V., Van Hoorn, J. (2018). The Psychological effects of climate change on children. *Current Psychiatry Reports* 20 (5): 35.
- CarbonBrief (2020). State of the climate: how the world warmed in 2019. Found at 3 June 2020, from <https://www.carbonbrief.org/state-of-the-climate-how-the-world-warmed-in-2019>
- Chang, C. H. (2014). Climate change education: knowing, doing and being. New York: Routledge.
- ClimateCentral (2008). CO2 put in the air by burning fossil fuels has a chemical signature. Retrieved from https://www.climatecentral.org/library/climopedia/co2_put_in_the_atmosphere_by_burning_fossil_fuels_has_a_detectable_chemical_signature

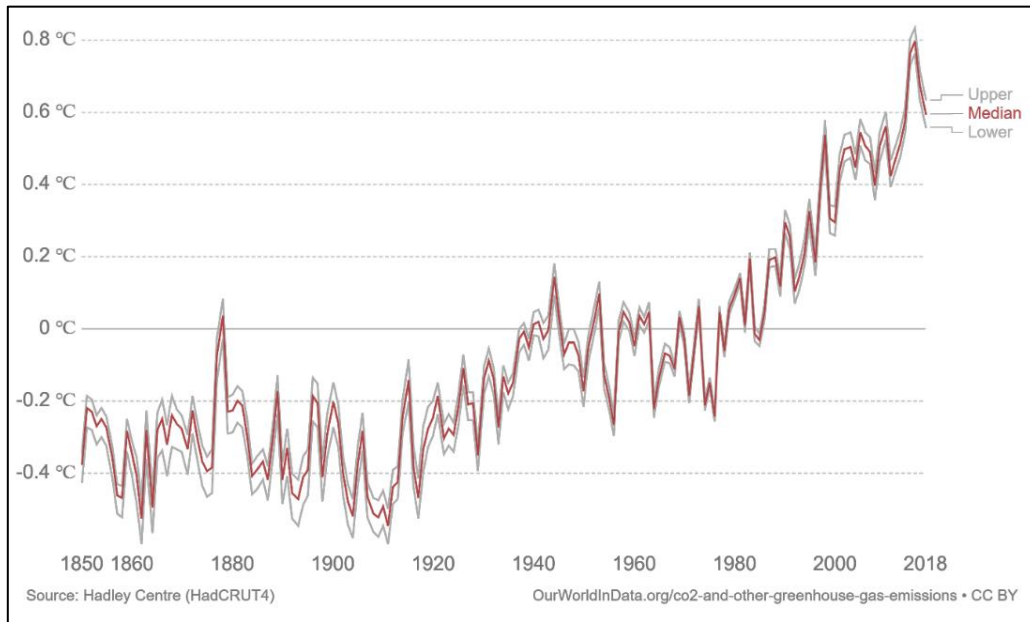
- Cordero, E. C., Marie Todd, A., & Abellera, D. (2008). Climate Change Education and the Ecological Footprint. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 89(6), 865–872.
- CRED (Center for Research on Environmental Decisions) (2009). *The Psychology of Climate Change Communication: A Guide for Scientists, Journalists, Educators, Political Aides, and the Interested Public*. New York. Retrieved from <https://guide.cred.columbia.edu>
- Crutzen, P.J., Stoermer, E.F. (2000). The “Anthropocene.” *IGBP Newsl.* 41, 12–14.
- Darling-Hammond, L., Hyler, M. E., Gardner, M. (2017). *Effective Teacher Professional Development*. Palo Alto, CA: Learning Policy Institute.
- Desimone, L. (2009). Improving Impact Studies of Teachers’ Professional Development: Toward Better Conceptualizations and Measures. *Educational Researcher* 38 (3): 181–199.
- Devine-Wright, P., Devine-Wright, H., & Fleming, P. (2004). Situational influences upon children's beliefs about global warming and energy. *Environmental Education Research*. 10. 493-506.
- Do Nascimento, A. (2019). “Rain, Rain, Go Away!” Engaging Rain Pedagogies in Practices With Children: From Water Politics to Environmental Education. *Journal of Childhood Studies* 44 (3): 45-55.
- Earth’s CO2 Home Page (2020). Found at 4 June 2020, from <https://www.co2.earth/>.
- Elias, S.A. (2013a). History of Quaternary Science. In: *Encyclopedia of Quaternary Science – Volume 1* (Elias, S.A. & C.J. Mock, Eds.). Elsevier, Amsterdam, pp. 1-8.
- Faria, F., Klima, K., Posen, I.D., & Azevedo, I.M.L. (2015). “A New Approach of Science, Technology, Engineering, and Mathematics Outreach in Climate Change, Energy, and Environmental Decision Making.” *Sustainability: The Journal of Record* 8 (5): 261–271.
- Greenhouse effect. Britannica Academic, Encyclopaedia Britannica (2020). Retrieved from <https://academic-ebcom.kuleuven.ezproxy.kuleuven.be/levels/collegiate/article/greenhouse-effect/37976>.
- Hallar, A.G., McCubbin, I.B., & Wright, J.M. (2011). “CHANGE: A Place-based Curriculum for Understanding Climate Change at Storm Peak Laboratory, Colorado.” *Bulletin of the American Meteorological Society* 92 (7): 909–918.
- Harker-Schuch, I., & Bugge-Henriksen, C. (2013). Opinions and Knowledge About Climate Change Science in High School Students. *AMBIO*, 42(6), 755–766.
- Harlen, W. (2012). *Assessment & Inquiry-Based Science Education. Issues in Policy and Practice*. Global Network of Science Academies (IAP) Science Education Programme (SEP).
- Heberlein, T. A. (2012). *Navigating environmental attitudes*. New York: Oxford University Press.
- Ho, L. C., & Seow, T. (2015). Teaching Controversial Issues in Geography: Climate Change Education in Singaporean Schools. *Theory and Research in Social Education*.
- Huang, J., Huang, J., Liu, X., Li, C., Ding, L., & Yu, H. (2018). The global oxygen budget and its future projection. *Science Bulletin*.
- IAP (2017). *Inter Academy Partnership Statement on Climate Change Education*. Retrieved from: <https://www.interacademies.org/statement/statement-climate-change-and-education> (Accessed 7 May 2020)

- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), (2013). *Climate Change 2013: the Physical Science Basis*. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, USA.
- Kaiser, F. G., & Fuhrer, U. (2003). Ecological Behavior's Dependency on Different Forms of Knowledge. *Applied Psychology, 52*(4), 598–613.
- Kalis, A.J., Merkt, J., & Wunderlich, J. (2003). Environmental changes during the Holocene climatic optimum in central Europe - human impact and natural causes. *Quaternary Science Reviews, 22*, 33-79.
- Karpudewan, M., Roth, W.M. and Chandrakesan, K. (2015). "Remediating Misconception on Climate Change among Secondary School Students in Malaysia." *Environmental Education Research 21* (4): 631–648.
- Klosterman, M. L., & Sadler, T.D. (2010). "Multi-level Assessment of Scientific Content Knowledge Gains Associated with Socioscientific Issues-based Instruction." *International Journal of Science Education 32* (8): 1017–1043.
- Kriegler, E., Bertram, C., Kuramochi, T., Jakob, M., Pehl, M., Stevanović, M., ... Edenhofer, O. (2018). Short term policies to keep the door open for Paris climate goals. *Environmental Research Letters*.
- Kuramochi, T., Höhne, N., Schaeffer, M., Cantzler, J., Hare, B., Deng, Y., ... Blok, K. (2018). Ten key short-term sectoral benchmarks to limit warming to 1.5°C. *Climate Policy*.
- Lambert, J.L., & Bleicher, R.E., 2014. "Improving Climate Change Communication Starting with Environmental Educators." *Journal of Geoscience Education 62* (3): 388–401.
- Lee, T. M., Markowitz, E. M., Howe, P. D., Ko, C.-Y., & Leiserowitz, A. A. (2015). Predictors of public climate change awareness and risk perception around the world. *Nature Climate Change, 5*(11), 1014–1020.
- Leigh, Kathryn. 2009. "ENERGY BUSTERS Norfolk Schools Fight Climate Change." *Environmental Education 91*: 13–14
- Leiserowitz, A. (2006). Climate Change Risk Perception and Policy Preferences: The Role of Affect, Imagery, and Values. *Climatic Change, 77*(1-2), 45–72.
- Leiserowitz, A., Smith, N., & Marlon, J. R. (2010). *Americans' Knowledge of Climate Change*. New Haven, CT: Yale Project on Climate Change Communication: Yale University. Retrieved from <http://environment.yale.edu/climate/files/ClimateChangeKnowledge2010.pdf>
- Lena P., Lescarmonier L., Wilgenbus D. (2019). 'Le rôle de l'éducation scientifique à l'Anthropocene', in *Eduquer en Anthropocene* [N. Wallenhorst & J.-Ph. Pierron, dir.]. Le Bord de l'Eau.
- Lester, B. T., Lee, L.M.O., & Lambert, J. (2006): Social activism in elementary school education: A science, technology, and society approach to teaching global warming. *Int. J. Sci. Educ., 28*, 315–339.
- Levine, D. S., & Strube, M. J. (2012). Environmental Attitudes, Knowledge, Intentions and Behaviors Among College Students. *The Journal of Social Psychology, 152*(3), 308–326.
- Lombardi, D., & Sinatra, G. M. (2013). Emotions about Teaching about Human-Induced Climate Change. *International Journal of Science Education, 35*(1), 167–191.

- Mason, Lucia, and Marina Santi. 1998. "Discussing the Greenhouse Effect: Children's Collaborative Discourse Reasoning and Conceptual Change." *Environmental Education Research* 4 (1): 67–85.
- Mallon, B. (2015). A Development Education Perspective on the Challenges and Possibilities of Climate Change in Initial Teacher Education. *Policy and Practice: A Development Education Review*, 21: 135-146.
- Marzano, R.J. & Miedema, W. (2005). *Leren in vijf dimensies. Moderne didactiek voor het voortgezet onderwijs*. Assen: Van Gorcum.
- Meinhold, J. L. (2005). Adolescent Environmental Behaviors: Can Knowledge, Attitudes, and Self-Efficacy Make a Difference? *Environment and Behavior*, 37(4), 511–532.
- Menny, C., Osberghaus, D., Pohl, M., & Werner, U. (2011). General Knowledge about Climate Change, Factors Influencing Risk Perception and Willingness to Insure. *SSRN Electronic Journal*.
- Mock, C.J. (2013). Paleoclimate – Introduction. In: *Encyclopedia of Quaternary Science – Volume 3* (Elias, S.A. & C.J. Mock, Eds.). Elsevier, Amsterdam, pp. 87-92.
- Monroe, M.C., Plate, R.R., Oxarart, A., Bowers A., & Chaves, W.A. (2019). Identifying effective climate change education strategies: a systematic review of the research, *Environmental Education Research*, 25:6, 791-812.
- Moser, S. C. & Dilling, L. (eds.), 2007. Creating a Climate for Change: Communicating Climate Change and Facilitating Social Change, *Écoscience*, 14:4, 545-546.
- Murphy, C., Smith, G., & Broderick, N. (2019). A Starting Point: Provide Children with Opportunities to Engage with Scientific Inquiry and Nature of Science. *Research in Science Education*.
- Notebaert, B., & Verstraeten, G. (2010). Sensitivity of West and Central European river systems to environmental changes during the Holocene: A review. *Earth-Science Reviews*, 103, 163-182.
- Ojala, M. (2015). Hope in the Face of Climate Change: Associations With Environmental Engagement and Student Perceptions of Teachers' Emotion Communication Style and Future Orientation. *The Journal of Environmental Education*, 46(3), 133–148.
- Oldfield, F. (2005). Introduction: The Holocene, a special time. In: *Global change in the Holocene* (Mackay et al.). Hodder Arnold, London, pp. 1-9.
- Ovds (2015). School, kennis, Klimaat, Enquête over de kennis en bewustwording van leerlingen op het einde van het secundair onderwijs met betrekking tot de klimaatontregeling? (Oproep Voor een Democratische School). Retrieved from: <http://www.skolo.org/CM/wpcontent/uploads/2019/10/School-kennis-klimaat-OVDS-2019.pdf>
- Pongiglione, F. (2012). The key role of causal explanation in the climate change issue. *THEORIA. An International Journal for Theory, History and Foundations of Science*, 27(2), 175–188.
- Poulou, M. (2007). Personal Teaching Efficacy and Its Sources: Student teachers' perceptions. *Educational Psychology*, 27(2), 191–218.
- Pruneau, D., Gravel, H., Bourque, W., & Langis, J. (2003). "Experimentation with a Socio-constructivist Process for Climate Change Education." *Environmental Education Research* 9 (4): 429–446.
- Read, D., Bostrom, A., Morgan, M. G., Fischhoff, B., & Smuts, T. (1994). What Do People Know About Global Climate Change? 2. *Survey Studies of Educated Laypeople. Risk Analysis*, 14(6), 971–982.

- Reynolds, T. W., Bostrom, A., Read, D., & Morgan, M. G. (2010). Now What Do People Know About Global Climate Change? *Survey Studies of Educated Laypeople: Now What Do People Know About Global Climate Change? Risk Analysis*, 30(10), 1520–1538.
- Rooney, T. (2018). Weather worlding: learning with the elements in early childhood, *Environmental Education Research*, 24 (1): 1-12.
- Shi, J., Visschers, V. H. M., Siegrist, M., & Arvai, J. (2016). Knowledge as a driver of public perceptions about climate change reassessed. *Nature Climate Change*, 6(8), 759–762.
- Shulman, L.S. (1986). Paradigms and research programs for the study of teaching. In M.C. Wittrock (Ed.), *Handbook of research on teaching* (3rd ed.). New York: Macmillan.
- Stapleton, S.R. 2015. “Environmental Identity Development through Social Interactions, Action, and Recognition.” *The Journal of Environmental Education* 46 (2): 94–113.
- Tobler, C., Visschers, V. H. M., & Siegrist, M. (2012). Consumers’ knowledge about climate change. *Climatic Change*, 114(2), 189–209.
- Tolppanen, S., Aksela, M. (2018). Identifying and addressing students' questions on climate change. *The Journal of Environmental Education* 49 (5): 375 -389.
- United Nations Educational Scientific and Cultural Organisation (2019). Framework for the implementation of Education for Sustainable Development (ESD) beyond 2019. UNESCO. Paris. Retrieved from: <https://unesdoc.unesco.org> (Accessed 7 May 2020).
- United Nations Educational Scientific and Cultural Organisation (2019). Framework for the implementation of Education for Sustainable Development (ESD) beyond 2019. UNESCO. Paris. Retrieved from: <https://unesdoc.unesco.org> (Accessed 7 May 2020).
- United Nations Framework Convention on Climate Change. (2015). Adoption of the Paris agreement. Retrieved from http://unfccc.int/paris_agreement/items/9485.php (Accessed 7 May 2020).
- Van den Broeck, A., Ferris, D. L., Chang, C. H., & Rosen, C. C. (2016). Review of Self-Determination Theory’s Basic Psychological Needs at Work. *Journal of Management*, 42(5), 1195-1229.
- Walker, M., Johnsen, S., Rasmussen, S. O., Popp, T., Steffensen, J. P., Gibbard, P., ... Schwander, J. (2009). Formal definition and dating of the GSSP (Global Stratotype Section and Point) for the base of the Holocene using the Greenland NGRIP ice core, and selected auxiliary records. *Journal of Quaternary Science*, 24(1), 3–17.
- Wibeck, V. (2014). “Enhancing Learning, Communication and Public Engagement about Climate Change – Some Lessons from Recent Literature.” *Environmental Education Research* 20 (3): 387–411.
- Wolf, J. & Moser, S. C. (2011). Individual understandings, perceptions, and engagement with climate change: Insights from in-depth studies across the world. *WIREs-Clim. Change* 2, 547–569.
- Zalasiewicz, J., Williams, M., Haywood, A., & Ellis, M. (2011). The anthropocene: A new epoch of geological time? *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 369(1938), 835–841.
- Zografakis, N., Menegaki, A.N., & Tsagarakis, K.P. 2008. “Effective Education for Energy Efficiency.” *Energy Policy* 36 (8): 3216–3222.

7. Onderstaande grafiek toont de evolutie in de wereldwijd gemiddelde jaartemperatuur van 1850 tot 2018 ten opzichte van de referentieperiode 1961-1990. Geef voor elk van de onderstaande stellingen aan of ze juist zijn of niet.



Volgens bovenstaande grafiek	Akkoord	Niet akkoord	Deze grafiek volstaat niet om te antwoorden
Steeg de temperatuur ongeveer 0,6°C per jaar tussen 1900 en 2018	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Steeg de temperatuur ongeveer 1°C per jaar tussen 1900 en 2018	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Steeg de temperatuur ongeveer 0,6°C tussen 1900 en 2018	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Steeg de temperatuur ongeveer 1°C tussen 1900 en 2018	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

8. Op de klimaatop in Parijs spraken regeringsleiders af om klimaatacties te ontwikkelen die verdere klimaatopwarming kunnen beperken. Hoeveel hoger mag de gemiddelde temperatuur volgens die afspraken maximaal stijgen, ten opzichte van vandaag?

- | | |
|---|--------------------------------------|
| <input type="radio"/> Geen stijging meer toegelaten | <input type="radio"/> Max. 3°C extra |
| <input type="radio"/> Max. 1°C extra | <input type="radio"/> Max. 4°C extra |
| <input type="radio"/> Max. 2°C extra | <input type="radio"/> Max. 5°C extra |

9. Voor welke van onderstaande situaties waarschuwen experts als gevolg van de klimaatopwarming in België?

- Meer droge zomers
- Meer vervuilde waterlopen
- Meer overstromingen
- Meer gevallen van huidkanker
- Zwaardere stormen

10. Hoeveel hoger zal volgens klimaatwetenschappers de zeespiegel in 2100 staan, gerekend vanaf de pre-industriële periode?

- | | |
|---------------------------------------|-------------------------------------|
| <input type="radio"/> 0 tot 0,5 meter | <input type="radio"/> 3 tot 4 meter |
| <input type="radio"/> 0,5 tot 1 meter | <input type="radio"/> 4 tot 5 meter |
| <input type="radio"/> 1 tot 2 meter | <input type="radio"/> > 5 meter |
| <input type="radio"/> 2 tot 3 meter | |

11. Klimaatvluchtelingen zijn mensen die hun streek of land moeten verlaten vanwege de gevolgen van de klimaatverandering. Hoeveel klimaatvluchtelingen zullen er volgens de Verenigde Naties in 2050 zijn?

- | | |
|---------------------------------|-----------------------------------|
| <input type="radio"/> 100 000 | <input type="radio"/> 10 miljoen |
| <input type="radio"/> 500 000 | <input type="radio"/> 100 miljoen |
| <input type="radio"/> 1 miljoen | <input type="radio"/> 200 miljoen |
| <input type="radio"/> 2 miljoen | <input type="radio"/> 1 miljard |
| <input type="radio"/> 5 miljoen | |

12. Klimaatveranderingen in het verleden kunnen ons veel leren over onze nabije toekomst. Beantwoord de volgende 5 stellingen.

A) De huidige klimaatopwarming gaat een pak sneller dan gelijk welke klimaatverandering in het verleden.		
<input type="radio"/> Juist	<input type="radio"/> Fout	<input type="radio"/> Geen idee
B) Als we niet opletten, wordt het binnen enkele eeuwen warmer dan het ooit geweest is.		
<input type="radio"/> Juist	<input type="radio"/> Fout	<input type="radio"/> Geen idee
C) De verwachte komst van een nieuwe ijstijd zal binnen enkele eeuwen de huidige opwarming compenseren.		
<input type="radio"/> Juist	<input type="radio"/> Fout	<input type="radio"/> Geen idee
D) Onze voorouders leefden ooit al eens in een wereld die warmer was dan vandaag, en de zeespiegel stond toen 6 meter hoger.		
<input type="radio"/> Juist	<input type="radio"/> Fout	<input type="radio"/> Geen idee
E) Het grootste deel van de aardgeschiedenis was het zo warm dat er helemaal geen ijskappen of gletsjers voorkwamen. In dat perspectief is het nu dus helemaal niet warm.		
<input type="radio"/> Juist	<input type="radio"/> Fout	<input type="radio"/> Geen idee

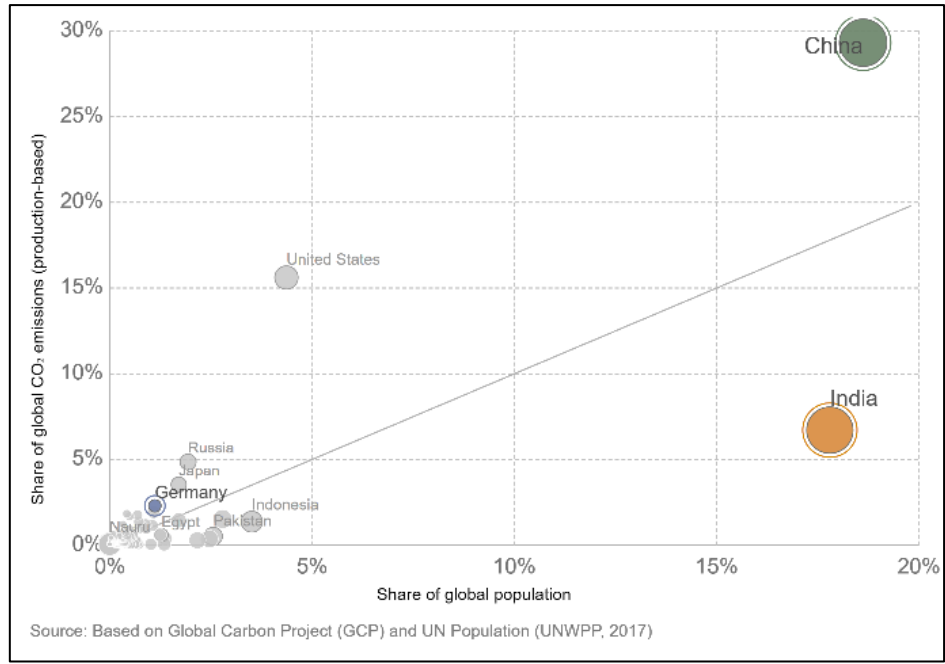
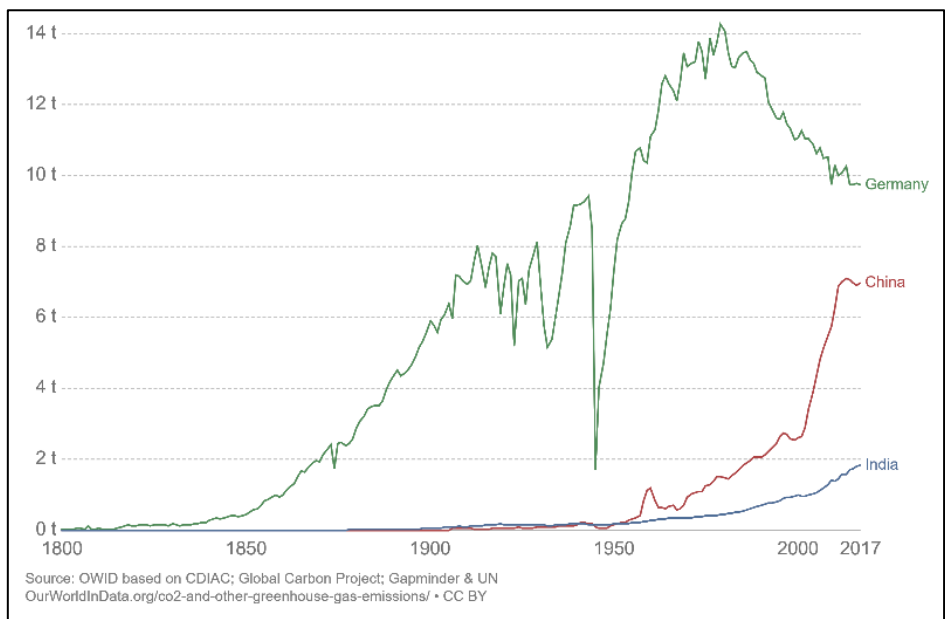
13. Wat is het belangrijkste mechanisme waardoor CO₂-uitstoot door menselijke activiteiten de opwarming van de aarde veroorzaakt? (*Slechts één antwoord*)

- Het CO₂ dat vrijkomt bij verbranding is warm en warmt zo de atmosfeer op
- Het CO₂ vernietigt de ozonlaag en zo kan de ultraviolette straling van de zon gemakkelijker doordringen
- Het CO₂ vangt de ultraviolette straling van de zon op waardoor de atmosfeer wordt opgewarmd
- Het CO₂ doet het poolijs smelten waardoor de aarde opwarmt
- Het CO₂ belet dat de infrarode straling de aardatmosfeer verlaat
- Het CO₂ belet de vorming van wolken waardoor de zonnestraling ongehinderd kan passeren.

14. Als we met vier personen naar het zuiden van Frankrijk rijden in een middelgrote auto met benzinemotor, stoten we ongeveer 40 kg CO₂ per persoon uit. Hoeveel bedraagt de CO₂-uitstoot (per persoon) als we dezelfde afstand afleggen per...

	10 kg	20 kg	30 kg	40 kg	60 kg	80 kg	100 kg	130 kg	160 kg
Vliegtuig	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Trein	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Terreinwagen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Hybride auto	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Bus	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Dieselwagen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

15. Onderstaande grafieken tonen de evolutie van jaarlijkse CO₂ uitstoot per persoon (in ton) in Duitsland, China en India over de afgelopen 220 jaar (*boven*), en het huidige aandeel van die landen in de mondiale CO₂ uitstoot ten opzichte van andere landen (*onder*). Op basis van deze informatie, duid de correcte bewering(en) onder de grafieken aan (*Meerdere antwoorden mogelijk*).



	Akkoord	Niet akkoord	Deze grafieken volstaan niet om te antwoorden
Een Chinees stoot gemiddeld meer CO ₂ uit dan een Duitser	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
China telt meer inwoners dan Duitsland	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
De koolstofvoetafdruk van de gemiddelde Indiër is groter dan die van de gemiddelde Duitser	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
De per capita CO ₂ uitstoot van Indië is in de afgelopen 40 jaar meer dan verviervoudigd	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
De gemiddelde Duitser stoot nu 10% minder CO ₂ uit dan 40 jaar geleden	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
De CO ₂ uitstoot van de gemiddelde Amerikaan is de hoogste ter wereld	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

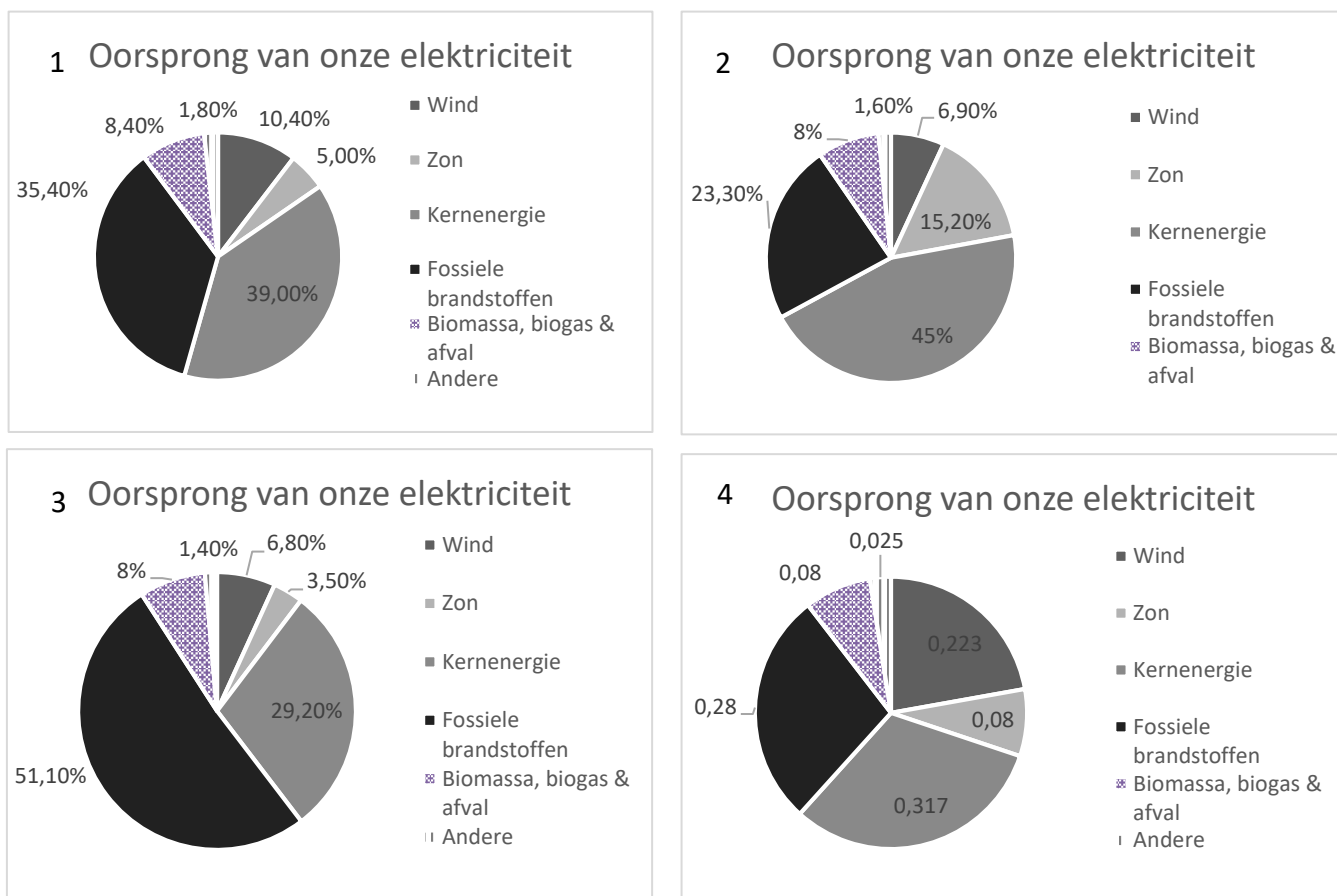
16. Wat bespaart het meeste CO₂ per jaar? Geef een nummer van 1 tot 6 (1: meest besparend, 6: minst besparend).

	1	2	3	4	5	6
Een jaar met een elektrische auto rijden	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
10 zonnepanelen leggen (16,5 m ²)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Geen vliegvakantie naar Spanje (4 personen)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Isoleren van dak, vloer en spouwmuren	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Met de trein naar Spanje en niet met het vliegtuig	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Met de trein naar het werk en niet met de auto	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

17. Om de klimaatdoelstellingen te halen, moet ons land inspanningen leveren om de uitstoot van CO₂ en andere broeikasgassen te verminderen. Met hoeveel procent moet de uitstoot van broeikasgassen in alle industrielanden waaronder België naar beneden tegen 2050?

- 30-50%
- 50-65%
- 65-80%
- 80-95%

18. De elektriciteit die in België wordt geproduceerd komt voort uit verscheidene energiebronnen. Welke van onderstaande grafieken benadert het best het aandeel van elk van deze bronnen in onze huidige elektriciteitsproductie?



1	2	3	4
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

19. Welke van onderstaande energiebronnen produceert de meeste broeikasgassen bij een gelijke hoeveelheid energieproductie? (*Eén antwoord*)

- Diesilverbranding
- Aardgasverbranding
- Geothermische energie
- Kernenergie
- Steenkoolverbranding
- Windturbines

20. Welke van onderstaande energiebronnen zijn hernieuwbaar? (*Meerdere antwoorden mogelijk*)

- Steenkool
- Waterkracht (stuwdammen)
- Waterstof
- Uranium (gebruikt in kerncentrales)
- Wind
- Zonne-energie (zonnepanelen, zonneboilers...)
- Geothermische energie (warmte uit de aardmantel)
- Aardgas

21. Hoe sta jij tegenover de klimaatverandering, en hoe belangrijk vind jij de klimaatproblematiek? Geef aan in welke mate je akkoord gaat met onderstaande stellingen.

	Volledig akkoord	Eerder akkoord	Eerder niet akkoord	Helemaal niet akkoord
“Tof, we krijgen meer dagen met mooi weer.”	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
“Ik maak mij niet ongerust, de wetenschappers zullen wel een oplossing vinden.”	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
“Vegetariërs die vliegvluchten maken zijn niet consequent.”	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
“Ik heb schrik dat dit tot oorlogen leidt.”	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
“Klimaatpijbelers protesteren tegen hun eigen levensstijl.”	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
“De rijke landen zouden de arme landen moeten helpen ontwikkelen zonder te vervuilen.”	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
“We moeten klimaatvluchtelingen opvangen in België.”	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
“Men zal de controles aan de grenzen moeten versterken om niet overspoeld te worden door klimaatvluchtelingen.”	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

22. Bonusvraag: Wat doen jij en/of je ouders nu al concreet om verdere klimaatopwarming tegen te gaan, of wat ben je van plan te doen? Geef twee (niet meer dan twee) volgens jou belangrijke voorbeelden.

1.

2.

Dank voor de medewerking!

Bijlage 2. Lessenpakket klimaatkennis 1: verbeter sleutel van de enquête

Vraag 1. Niet van toepassing

Vraag 2. Niet van toepassing

Vraag 3. Niet van toepassing

Vraag 4. Volgens klimaatwetenschappers is de uitstoot van broeikasgassen door menselijke activiteiten de voornaamste oorzaak van de huidige opwarming van de aarde. Hoeveel klimaatwetenschappers delen die mening?

Een overweldigend percentage (97%) van de klimaatwetenschappers meent dat de huidige opwarming van de aarde hoofdzakelijk veroorzaakt wordt door de mens (Fig. 1). Je kan dus spreken van een wetenschappelijke consensus. Bovendien nemen ook de meeste wetenschappelijke organisaties wereldwijd dit standpunt aan. Het aantal studies dat antropogene, of door de mens veroorzaakte, opwarming van de aarde afwijst of in twijfel trekt is een minuscuul deel van het gepubliceerde onderzoek, waarvan het percentage in de loop van de tijd blijft afnemen. Merk wel op dat het hier gaat over klimaatwetenschappers (met andere woorden, experts in de problematiek), niet over wetenschappers in het algemeen of alle mensen met een wetenschappelijk diploma. Het merendeel van de wetenschappers of mensen met een wetenschappelijk diploma heeft onvoldoende kennis van zaken waardoor het percentage lager zal liggen.

Studies into scientific agreement on human-caused global warming



Figuur 1. Verschillende studies naar de vraag of huidige klimaatopwarming veroorzaakt wordt door menselijke activiteiten. Antwoorden tonen algemene consensus over menselijk oorzaak van de klimaatopwarming (Cook et al., 2016).

Vraag 5. Noem drie broeikasgassen en zet ze (*van links naar rechts*) in volgorde van belangrijkheid.

1) Wat zijn broeikasgassen en waar komen ze voor?

Broeikasgassen zijn gassen met het vermogen om warmtestraling te absorberen en geleidelijk in alle richtingen weer af te geven. Hierdoor houden ze warmte vast in de atmosfeer en beïnvloeden ze temperatuur op aarde. Dit wordt het broeikaseffect genoemd (zie vraag 13 voor meer uitleg over het broeikaseffect en het versterkt broeikaseffect).

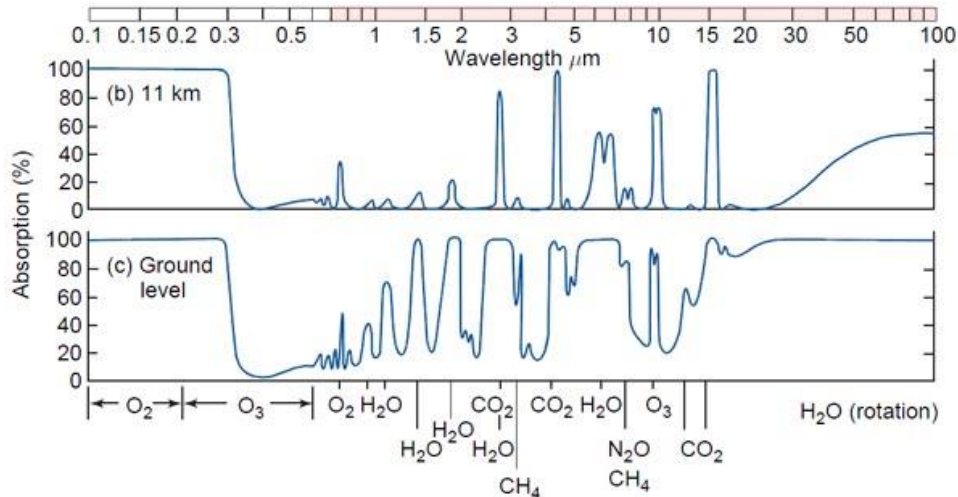
Onze planeet wordt omringd door een 40 kilometer dikke gaslaag: de atmosfeer. Broeikasgassen zijn van nature terug te vinden in de troposfeer, dit is het dense onderste deel van de atmosfeer waar zich alle weersverschijnselen afspelen en in België ongeveer tien kilometer hoog reikt. De troposfeer bevat 'de lucht' die wij inademen en die bestaat voornamelijk uit stikstofgas (N_2 : 78%) en zuurstofgas (O_2 : 21%), en slechts 1% uit broeikasgassen. De belangrijkste broeikasgassen zijn **waterdamp** (H_2O : 0,9%), **koolstofdioxide** (CO_2 : 0,041%), **methaan** (CH_4 : 0,00018%) en **distikstofoxide** (N_2O : 0,000032%). De broeikasgassen houden een deel van de energie vast die als zonlicht de aarde bereikt en als warmtestraling van het aardoppervlak naar de ruimte wordt teruggekaatst. Dit zorgt ervoor dat de gemiddelde temperatuur op aarde $15^\circ C$ bedraagt, en maakt leven op aarde mogelijk.

2) Hoe komt het precies dat broeikasgassen warmte kunnen vasthouden?

Broeikasgassen zijn infrarood-actief m.a.w. ze hebben het vermogen om infraroodstralen of warmtestralen te absorberen. Een voorwaarde om warmtestraling te kunnen absorberen is dat een molecule asymmetrisch kan meetrillen met dezelfde golflengte als de warmtestraling waarbij de verdeling van elektrische lading binnen de molecule een beetje verandert. Dat kun je vergelijken met een stemvork die meetrilt met een bepaalde toonhoogte. De trillende molecule neemt de warmtestraling in zich op, waardoor de lucht er omheen ook opwarmt. De extra warmte wordt vervolgens in alle richtingen uitgestraald, dus ook terug naar de aarde. Zowel O_2 als N_2 , de meest voorkomende gassen in de atmosfeer, zijn symmetrische moleculen, gemaakt van twee identieke atomen waarvan de elektrische velden elkaar gewoon opheffen. Symmetrische moleculen met slechts twee atomen zijn nooit broeikasgassen omdat trillingen in hun bindingen niet voor een onevenwicht zorgen in het omgevend elektrische veld. Broeikasgassen bestaan uit asymmetrische moleculen, m.a.w. moleculen samengesteld uit verschillende soorten atomen (bijvoorbeeld CO_2 , CH_4 en H_2O) of uit moleculen met drie dezelfde atomen (bijvoorbeeld ozon: O_3).

Infrarood (IR) straling of warmtestraling is voor het menselijk oog niet waarneembare elektromagnetische straling, met golflengten tussen $0,7 \mu m$ en $300 \mu m$. Welke straling een molecuul absorbeert, hangt af van zijn unieke molecuulstructuur en de daarbij horende vibraties en rotaties. Als voorbeeld nemen we CO_2 . Rondom de atoomkernen 'zweven' de elektronen die zich in waarschijnlijkheidswolken of orbitalen bevinden. Moleculen die bestaan uit verschillende soorten atomen zijn continu aan het 'touwtrekken' om de elektronen in de gemeenschappelijke binding. Het zuurstofatoom heeft een sterkere neiging om elektronen naar zich toe te trekken in vergelijking met koolstof, omdat het zwaarder is. Het tweede zuurstofatoom doet net hetzelfde, maar niet exact op hetzelfde moment. Daardoor is op elk ogenblik de ene kant van het molecule meer negatief geladen en de andere kant meer positief geladen. Dit onevenwicht in ladingen wordt een dipoolmoment genoemd. Wanneer de verbinding trilt, vindt er een transitie plaats van positief naar negatief en

omgekeerd. Broeikasgassen interageren dus met IR straling via verandering van het elektrische veld. De broeikasgassen in de atmosfeer absorberen niet alle warmtestraling in dezelfde mate: elk broeikasgas absorbeert enkel IR straling van welbepaalde golflengtes, met andere woorden het is 'actief' op die golflengtes. Op figuur 2 is te zien wat er met de absorptie van warmtestraling gebeurt op verschillende hoogten in de atmosfeer.



Figuur 2. Infraroodstraling heeft een golflengte van 0,7 μm tot 300 μm (roze band bovenaan de grafiek). De onderste grafiek toont de absorptie van IR aan het aardoppervlak. Men ziet dat het grootste deel van de IR-band geabsorbeerd wordt door broeikasgassen. Op 11 km hoogte echter (bovenste grafiek) is van die absorptie niet veel meer over dan een beperkt aantal zeer smalle bandjes. Dit wil zeggen dat de broeikasgassen in de meer dense lage atmosfeer al bijna alle warmtestraling van die golflengtes hebben tegengehouden. De straling die ontsnapt, is de straling met golflengtes die zowel aan het aardoppervlak als op grote hoogte weinig worden geabsorbeerd, omdat geen enkel broeikasgas actief is op die golflengtes (Bron: John M. Wallace, Atmospheric Science)

3) Wat zijn de belangrijkste broeikasgassen?

Het broeikaseffect op aarde wordt voornamelijk veroorzaakt door waterdamp (H_2O), koolstofdioxide (CO_2), methaan (CH_4), distikstofoxide (N_2O) en in mindere mate door fluorgassen (CFK's). De bijdrage van elk gas aan het broeikaseffect wordt beïnvloed door de eigenschappen en concentratie van het gas, alsook diverse indirecte effecten. Elk broeikasgas kan worden uitgedrukt volgens haar 'opwarmend vermogen' (Global Warming Potential: GWP). Dit is het vermogen van één molecule van het broeikasgas om warmte in de atmosfeer op te vangen gedurende een periode van 100 jaar t.o.v. een referentiegas. CO_2 wordt hier als referentiegas genomen en heeft dus een $\text{GWP} = 1$ (IPCC, 2013).

1. Waterdamp (H_2O)

Het meest abundante broeikasgas en verantwoordelijk voor het grootste aandeel in de totale warmte-absorptie. Onze atmosfeer bevat ongeveer 20x meer waterdamp dan CO_2 .

Waterdamp ontstaat door verdamping van water aan het aardoppervlak. Menselijke activiteiten hebben vooral een indirect effect op de hoeveelheid waterdamp in de atmosfeer: de uitstoot van andere broeikasgassen zoals CH_4 , CO_2 en N_2O veroorzaken immers een opwarming van de atmosfeer wat op zijn beurt leidt tot meer verdamping uit de oceanen waardoor meer waterdamp in de atmosfeer terecht komt. Merk op dat waterdamp als broeikasgas twee keer sterker is dan CO_2 . Een

experiment toont aan dat een verdubbeling van CO₂ op zich zorgt voor een gemiddelde opwarming van +1,25°C. Maar als men hierbij ook de hoeveelheid waterdamp die is ontstaan door verdamping bijreken dan meet men een bijkomende opwarming van +2,5°C. hierbij zijn wel een paar valkuilen waarbij rekening moet gehouden worden. Er zijn namelijk heel wat positieve en negatieve terugkoppelingseffecten in de hydrologische cyclus. Zo is er een limiet aan de hoeveelheid waterdamp die zich in de atmosfeer kan opstapelen zonder dat het leidt tot condensatie. Bij een teveel aan waterdamp worden er wolken gevormd. Deze witte wolken zorgen voor reflectie van de zonnestraling en werken dus opwarming tegen met gemiddeld -1,85°C. Bij een gemiddeld hogere temperatuur neemt ook de hoeveelheid wintersneeuw sneller af, waardoor er minder reflectie is en de opwarming dus toeneemt met ongeveer +0,6°C. Extra waterdamp zorgt dus voor een netto-opwarming van $2,5 + 0,6 - 1,85 = 1,25$ °C boven de 1,25°C die rechtstreeks te wijten is aan de toegenomen concentratie CO₂ waardoor de totale opwarming 2,5°C bedraagt. Deze positieve terugkoppeling is de reden waarom het klimaat zo gevoelig is voor de opwarming van CO₂ (Ruddiman, 2007).

Waterdamp absorbeert dus zeer effectief warmte-energie in de lucht, maar hoopt zich niet in de atmosfeer op zoals de andere broeikasgassen. Dit komt doordat het een zeer korte atmosferische levensduur heeft, van de orde van uren tot dagen, omdat het snel wordt verwijderd als regen en sneeuw. De hoeveelheid waterdamp die de atmosfeer kan vasthouden neemt toe naarmate de atmosfeer warmer wordt, dus de broeikaseigenschappen van waterdamp worden meestal beschouwd als onderdeel van een terugkoppelingsmechanisme, in plaats van als een directe oorzaak van de klimaatverandering.

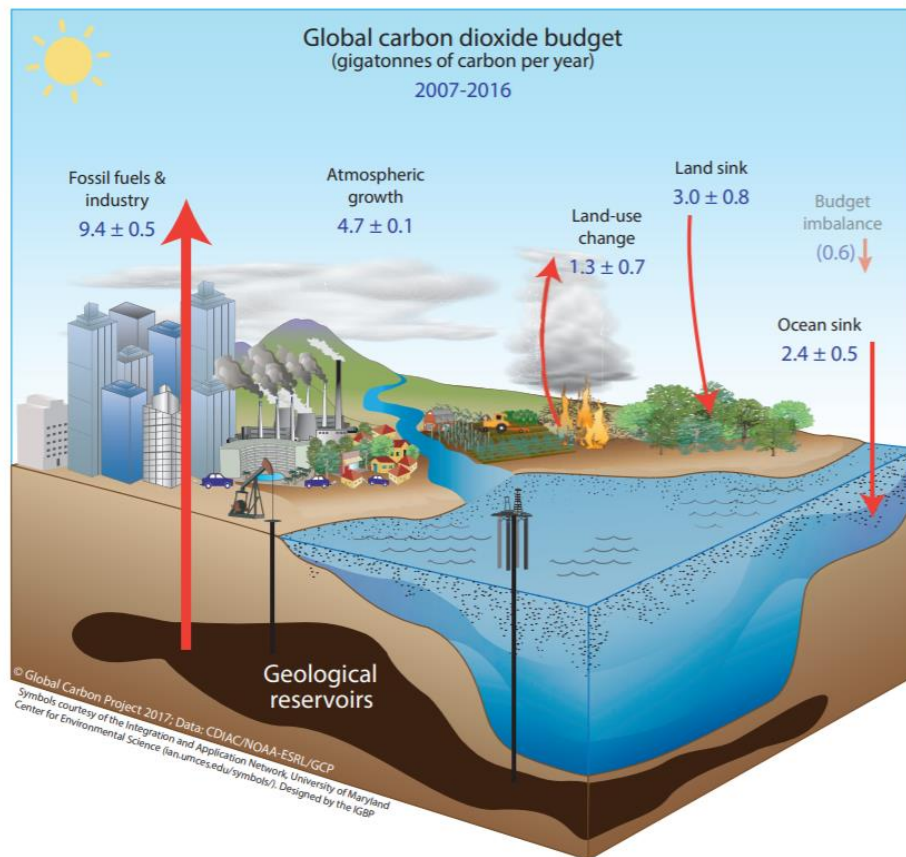
2. koolstofdioxide (CO₂)

Koolstofdioxide wordt van nature geproduceerd door o.a. afbraak van plantaardig of dierlijk materiaal. Door het verbranden van fossiele brandstoffen zoals steenkool, olie en gas komen grote hoeveelheden CO₂ vrij. Ook landgebruik zoals ontbossing voor landbouwgrond zorgt voor een stijging in de CO₂-emissies (IPCC, 2013). Door de ontbossing komt niet alleen CO₂ vrij maar wordt ook de opname van CO₂ door planten verminderd. Andere industriële sectoren zoals cementproductie, petrochemie en metaalnijverheid dragen ook bij aan de hoge uitstoot van CO₂ (Fig. 3; Le Quéré et al., 2017).

In het systeem aarde kan CO₂ op drie plaatsen worden opgeslagen: in de atmosfeer, in de biosfeer (voornamelijk bossen) en in de oceaan. Iets minder dan 50% van de totale hoeveelheid CO₂ die wij uitstoten komt uiteindelijk in de atmosfeer terecht, 1/3 wordt opgenomen door de biosfeer via de fotosynthese van landplanten en 1/4 wordt opgenomen door onze oceanen (Le Quéré et al., 2017). Stel dat we de vegetatie en oceanen niet hadden, zou het effect van klimaatverandering nog veel sterker zijn. Eigenlijk fungeren onze biosfeer en hydrosfeer als buffers voor klimaatverandering. De efficiëntie van die buffers neemt jammer genoeg af in de tijd, omdat op wereldschaal natuurlijke plantengroei alsmaar meer beperkt wordt door gebrek aan water (want hogere temperaturen betekent meer transpiratie) en omdat de oceanen minder efficiënt worden in het opnemen van extra CO₂ naarmate de concentratie van CO₂ in het water stijgt (Fig. 3; Le Quéré et al., 2017).

Als men kijkt naar het verloop van de concentratie CO₂ over de laatste 2000 jaar heeft er een sterke stijging plaatsgevonden sinds het begin van de industriële revolutie (Fig. 4). De CO₂ concentratie bedroeg toen 0,028% of 280 deeltjes per miljoen (ppm). In 1958 bedroeg de CO₂ concentratie 315 ppm en vandaag is dat toegenomen tot 416 ppm (Earth's CO₂ Home Page, 2020). De CO₂ die wij uitstoten heeft een lange gemiddelde levensduur in de atmosfeer. Dit betekent dat eenmaal in de atmosfeer, CO₂ het klimaat enkele eeuwen kan blijven beïnvloeden. Volgens het laatste IPCC rapport uit 2018 is

CO₂ verantwoordelijk voor zo'n 72% van het door menselijke uitstoot veroorzaakte opwarmingseffect, ondanks haar beperkte broeikaswaarde per molecule. Dit komt deels omdat CO₂ het grootste deel van de antropogene uitstoot vertegenwoordigt en deels via de door CO₂ veroorzaakte toename in waterdamp.

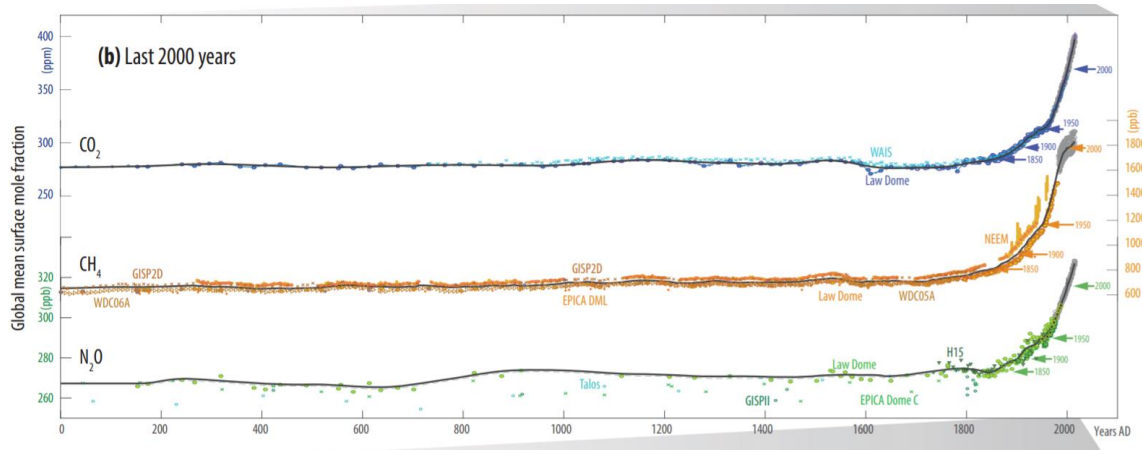


Figuur 3. Schematische weergave van verstoring van koolstofcyclus als gevolg van antropogene activiteiten (Le Quéré et al., 2017).

3. Methaan (CH₄)

Methaan komt vrij via afbraak van organisch materiaal o.a. in moerasgebieden. Iets meer dan de helft is afkomstig van menselijke activiteiten gerelateerd aan landbouw (rijstvelden, darmgisting bij herkauwers, gebruik van mesthopen), afvalverwerking en indirect via productie, verwerking en transport van aardgas (lekken van onvolledig of niet verbrand gas). De concentratie van methaan is sinds 1800 met zo'n 150% gestegen van 700 naar 1800 deeltjes per miljard (ppb) (Fig. 4). De huidige concentratie methaan in de atmosfeer is dus ongeveer 200 maal kleiner dan die van CO₂. Maar de broeikaswaarde of opwarmend vermogen (GWP) per molecule is ongeveer 25 keer hoger dan die van CO₂. Dit ondanks het feit dat de levensduur van elke methaanmolecule in de atmosfeer gemiddeld slechts 12 jaar bedraagt, omdat het door UV-straling wordt omgezet in waterdamp en CO₂. Uiteindelijk is methaan verantwoordelijk voor ongeveer 20% 25% van het antropogeen broeikaseffect (IPCC, 2013). Vaak wordt gezegd dat methaan een sterker broeikasgas is dan CO₂ vanwege haar hogere GWP, maar in zijn totaliteit is het minder belangrijk is dan CO₂ wat 72% van het opwarmingseffect voor zijn rekening neemt. Desalniettemin is het nog steeds belangrijk om ook in te zetten op emissiereducties

van methaan. Vooral de veeteelt draagt bij tot deze uitstoot dus moet de veestapel worden verminderd. Door de korte levensduur in de atmosfeer dragen emissiereducties van methaan sneller bij aan het afremmen van de klimaatopwarming.



Figuur 4: Evolutie van de belangrijkste broeikasgassen (CO_2 , CH_4 en N_2O) over de afgelopen 2000 jaar (Meinshausen et al. 2017).

4. Distikstofoxide (N_2O)

Distikstofoxide of lachgas komt vooral vrij door het gebruik van kunstmest of dierlijke mest, de verbranding van fossiele brandstoffen en chemische processen in de industrie (bv. productie van salpeterzuur). Natuurlijke processen in de bodem en de oceanen produceren ook lachgas, voornamelijk via nitrifiëring en denitrifiëring. De huidige concentratie van 330 ppb is ongeveer 16% hoger dan in 1800 (Fig. 4). De concentratie en toename sinds 1800 is beduidend kleiner dan die van methaan. Maar het heeft een nog veel hoger GWP dan methaan (300x die van CO_2) en levensduur van ongeveer 121 jaar. Het gas is verantwoordelijk voor ongeveer 5% van het antropogene broeikaseffect.

5. Gefluoreerde koolwaterstoffen (CFK's, HCFK's, HFK's, PFK's)

Gefluoreerde koolwaterstoffen kunnen voorkomen als koelmiddel (koelkasten en airco), solvent (o.m. schoonmaak elektronica), brandblusmiddel en worden gebruikt in de productie van aluminium en kunststofschuim. CFK's en HCFK's zorgen voor de afbraak van de ozonlaag waardoor meer UV-straling het aardoppervlak bereikt. Tegenwoordig zijn ze verboden door het Protocol van Montreal dat vanaf 1989 van kracht ging. De vervangproducten (HFK's) zijn niet schadelijk voor ozon maar hebben wel een effect als broeikasgas. Gefluoreerde koolwaterstoffen zijn scheikundig zeer stabiel en absorberen warmtestraling heel sterk (de GWP's variëren tussen 1.300 en 11.700). Toch hebben deze broeikasgassen een beperkte bijdrage van 2,2% aan het antropogene broeikaseffect vanwege hun zeer lage concentratie.

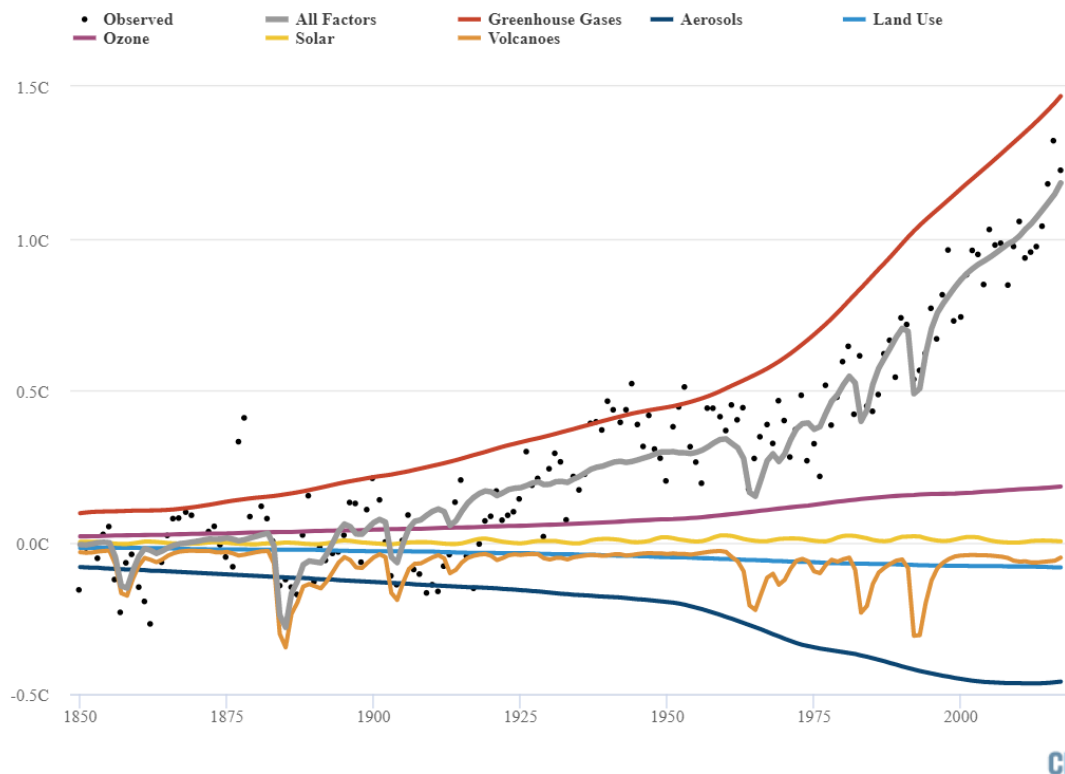
6. Ozon

Dit broeikasgas is van nature weinig aanwezig in de atmosfeer, omdat het voortdurend wordt aangemaakt en terug afgebroken door chemische reacties. Het ontstaat echter ook door oxidatie van NO_2 , een pollutant uitgestoten door het verkeer. Dit ozon stapelt zich op in de lage atmosfeer wat een negatieve invloed heeft op de luchtkwaliteit. Het CO_2 -equivalent van ozon is moeilijk te berekenen.

Vraag 6. Duid in onderstaande lijst de menselijke activiteiten of fenomenen aan die bijdragen tot de huidige klimaatopwarming (meerdere antwoorden zijn mogelijk).

- **Vulkaanactiviteit en variatie in zonne-activiteit**

Dit zijn twee natuurlijke fenomenen die nauwelijks tot niets te maken hebben met de huidige klimaatopwarming (IPCC, 2013).



Figuur 5. Evolutie van de jaarlijks wereldwijd gemiddelde oppervlaktetemperatuur voor de periode van 1850 tot 2017 (zwarte stippen) en gemodelleerde invloed van verschillende klimaatdrijvers (gekleurde lijnen), evenals de combinatie van alle drijvers (grijze lijn).

Metingen tonen aan dat de gemiddelde jaartemperatuur op aarde ongeveer 1,1°C is toegenomen t.o.v. het begin van de metingen (i.e. het gemiddelde van waarnemingen tijdens de periode 1850-1900). Wetenschappers meten de verschillende factoren die van invloed zijn op de hoeveelheid energie die in het klimaat van de aarde terechtkomt en blijft. Deze zogenaamde klimaatdrijvers omvatten broeikasgassen, aërosolen, veranderingen in zonneactiviteit (haar effectieve stralingsoutput), vulkaanuitbarstingen, veranderingen in landgebruik en ozon. Om de rol van elke klimaatdrijver in de waargenomen temperatuur-trend te beoordelen, wordt een statistisch klimaatmodel ontwikkeld. De zwarte stippen in figuur 5 tonen de waargenomen oppervlaktetemperatuur, terwijl de grijze lijn de geschatte opwarming toont door de combinatie van alle verschillende factoren. Dit model toont aan dat alleen wanneer de uitstoot van broeikasgassen in rekening gebracht wordt, men de historische stijging in temperatuur kan verklaren. Men kan dus met zekerheid zeggen dat de menselijke uitstoot van broeikasgassen verantwoordelijk is voor de opwarming van de aarde die men meet sinds het begin van de Industriële Revolutie (CarbonBrief, 2019). Opmerking: vulkanische as zorgt voor weerkaatsing

van het zonlicht richting de ruimte. Doordat de wind de as ver kan verspreiden, veroorzaakt dit een globale afkoeling. Ongeveer drie jaar na de uitbarsting is alle as uit de atmosfeer geregend waardoor het effect verdwijnt. Grote vulkaanuitbarstingen zorgen voor de tijdelijke 'dips' in de grafiek, maar omdat CO₂ intussen is blijven stijgen hebben deze dips weinig effect op de lange-termijn trend. De stralingsoutput of activiteit van de zon schommelt over een cyclus van ongeveer 11 jaar en hangt samen met het aantal zonnevlekken, dat al sinds de 17^{de} eeuw met telescopen wordt geteld. Bovenop die 11-jarige cyclus is een zeer lichte toename geregistreerd van de gemiddelde zonneactiviteit sinds de periode 1850-1900, maar dit vertegenwoordigt slechts een fractie van één percent van de totale zonne-energie die de aarde bereikt en is dus verwaarloosbaar in vergelijking met historische trends in andere klimaatdrijvers. Sinds omstreeks 1970 is de hoeveelheid zonne-energie zelfs licht gedaald (zie gele lijn in Fig.5), terwijl de temperatuur drastisch is gestegen.

- **Het gat in de ozonlaag**

Het gat in de ozonlaag heeft op zich niets te maken met de werking van het broeikaseffect en het behoort dus ook niet tot de oorzaken van de klimaatopwarming. Velen denken foutief dat klimaatopwarming te maken heeft met de extra zonnestraling die via het ozongat boven Antarctica in de atmosfeer terechtkomt. Door menselijke uitstoot van CFK's vanaf omstreeks 1950 is de ozonlaag gedeeltelijk afgebroken, en is boven Antarctica het ozongat ontstaan. De ozonlaag schermt het leven op aarde af tegen te hoge ultraviolet (UV) straling afkomstig van de zon. Daardoor kan een hogere dosis UV het aardoppervlak bereiken. De CFK's die sinds het Protocol van Montreal in 1989 gebannen worden, spelen wel een rol in het klimaatverhaal, want dit zijn broeikasgassen. Ze beletten dus dat IR straling de atmosfeer verlaat. Wat wetenschappers ook pas onlangs hebben ontdekt, is dat het ozongat het klimaat op het zuidelijk halfrond heeft beïnvloed. Door de afbraak van ozon, zelf ook een krachtig broeikasgas, is de stratosfeer op het zuidelijk halfrond kouder geworden. De koudere stratosfeer heeft geleid tot snellere winden in de buurt van Antarctica, wat verrassend genoeg gevolgen kan hebben tot aan de evenaar, waardoor ook de neerslag op lagere breedtegraden wordt beïnvloed. Het gat in de ozonlaag veroorzaakt dus geen opwarming van de aarde, maar beïnvloedt wel de atmosferische circulatie.

- **Zure regen**

Zure regen is volgens het Environmental Protection Agency (EPA) een brede term die elke vorm van neerslag (regen, sneeuw, hagel) omvat met zure componenten, zoals zwavelzuur of salpeterzuur. Hoewel door de mens veroorzaakte verontreiniging momenteel de meeste zure neerslag vormt, kunnen ook vulkanen zure regen veroorzaken door zuur-bevattende as in de lucht te blazen, die via de wind over de hele wereld wordt meegevoerd en in zure regen wordt omgezet, ver van de vulkaan. Zwaveldioxide (SO₂) en stikstofoxiden (NO_x) die in de lucht terechtkomen door verbranding van fossiele brandstoffen zijn volgens de EPA vandaag de dag de grootste oorzaak van zure regen. Twee derde van de SO₂ en een kwart van de NO_x in de atmosfeer zijn afkomstig van thermische elektriciteitscentrales waar steenkool of aardgas verbrand worden. Wanneer SO₂ en NO_x zich met vocht zoals waterdamp vermengen, veranderen ze in zwavelzuur en salpeterzuur. Dit tast kalkhoudende steen in gebouwen aan, verzuurt bosbodems en ontwricht zoetwater-ecosystemen.

- **Kerncentrales**

In een kerncentrale wordt radioactief materiaal zoals uranium gebruikt als energiebron. Kerncentrales leveren enorm veel energie en bij het opwekken ervan komt geen CO₂ vrij en dus is het klimaatneutraal. Maar dit wil niet zeggen dat kerncentrales ook een milieuvriendelijke technologie zijn. Integendeel, kernenergie is geen duurzame oplossing omwille van volgende redenen

- uranium is niet onbeperkt beschikbaar
- risico's voor leefmilieu en gezondheid
- langlevend radioactief afval
- bouw van nieuwe centrales is zeer duur
- kernenergie staat een overschakeling naar hernieuwbare energie in de weg. Stroom uit kerncentrales bezet permanent het elektriciteitsnet. Op momenten dat er meer elektriciteit geproduceerd dan verbruikt wordt, zijn het de gascentrales en hernieuwbare energiebronnen zoals windmolens die stilgelegd moeten worden.

- **Giftige stoffen**

Broeikasgassen zijn reuk- en kleurloze, niet-giftige gassen. Wij ademen CO₂ uit en planten gebruiken het om te groeien. Ook methaan is in regel een kleur- en geurloos, niet-giftig gas. De term giftige stoffen omvat dus geen broeikasgassen. Giftige stoffen dragen dus niet bij tot de huidige klimaatopwarming, maar zijn wel problematisch voor het milieu en gezondheid.

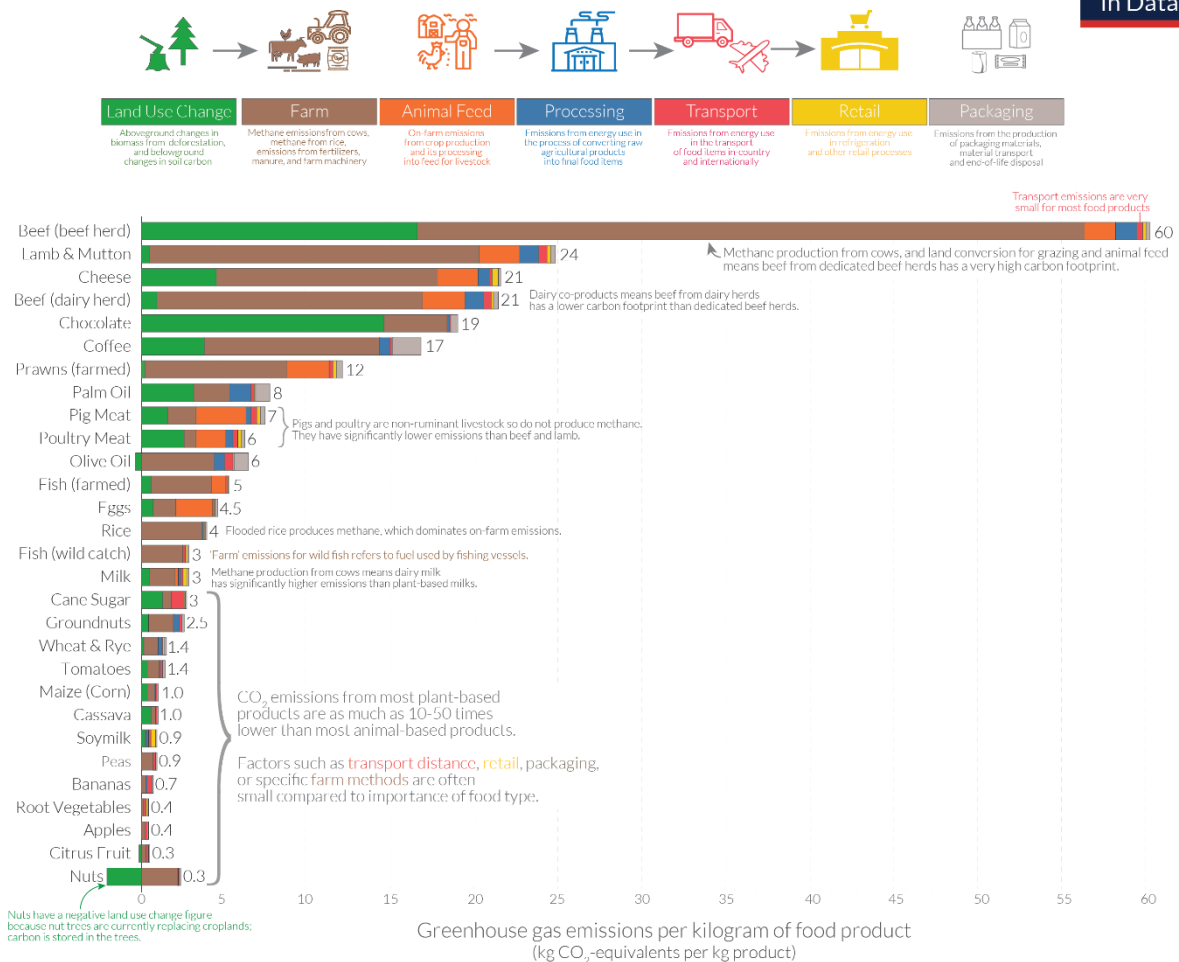
- **Verbranding van fossiele brandstoffen voor warmte en elektriciteit, wegverkeer en ontbossing**

Dit zijn de drie belangrijkste menselijke activiteiten die broeikasgassen uitstoten. Volgens het laatste IPCC-rapport uit 2013 is de verbranding van fossiele brandstoffen voor warmte en elektriciteit goed voor 25% van het antropogene broeikaseffect, het wegverkeer 14% en ontbossing 10%.

- **Veeteelt (in het bijzonder koeien) voor melk en vlees**

Koeien stoten via hun verteringsproces enerzijds methaan uit en anderzijds zorgt hun mest voor de uitstoot van lachgas (N₂O). Daarnaast moet de ontbossing voor teelt van veevoeder en het transport van rundsvlees en koemelk meegerekend worden. Als rekening wordt gehouden met al deze parameters dan is alleen al het kweken van koeien voor melk en vlees verantwoordelijk voor ongeveer 8% van het menselijke broeikaseffect. Minder vlees eten helpt dus om je persoonlijke klimaatimpact te reduceren. Er moet wel een onderscheid gemaakt worden tussen de verschillende soorten vlees. Zo draagt rundsvlees veel bij tot de klimaatopwarming, varkens- en kippenvlees in mindere mate. De grafiek in figuur 6 toont broeikasgasemissies van 29 verschillende voedingsmiddelen: van rundvlees aan de bovenkant tot noten aan de onderkant. Voor elk product kunt u zien uit welke fase van de bevoorradingsketen de uitstoot afkomstig is. Dit gaat van veranderingen in landgebruik aan de linkerkant tot transport en verpakking aan de rechterkant. In deze vergelijking kijken we naar de totale uitstoot van broeikasgassen per kilogram voedselproduct. CO₂ is het belangrijkste broeikasgas, maar niet het enige - landbouw is ook een grote bron van CH₄ en N₂O. Om alle broeikasgasemissies van de voedselproductie in rekening te brengen, worden ze uitgedrukt in kilogram 'CO₂-equivalenten'. Zo wordt rekening gehouden met alle broeikasgassen.

Food: greenhouse gas emissions across the supply chain



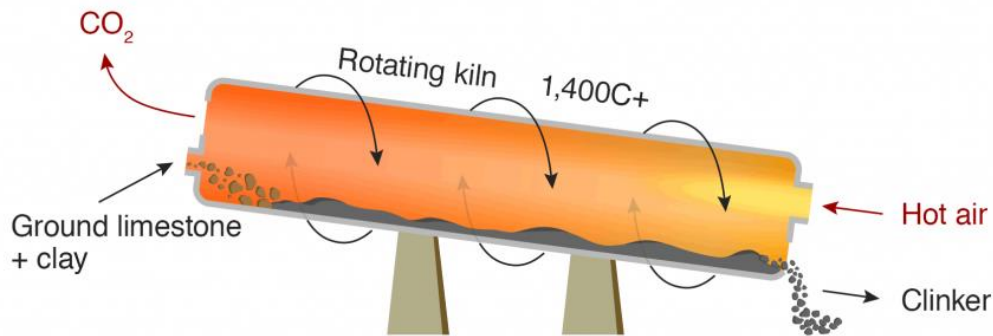
Note: Greenhouse gas emissions are given as global average values based on data across 38,700 commercially viable farms in 119 countries. Data source: Poore and Nemecek (2018). Reducing food's environmental impacts through producers and consumers. *Science*. Images sourced from the Noun Project. OurWorldinData.org - Research and data to make progress against the world's largest problems. Licensed under CC-BY by the author Hannah Ritchie.

Figuur 6. Broeikasgasemissies van 29 verschillende voedingsmiddelen uitgedrukt in kilogram 'CO₂-equivalenten' per kilogram voedingsproduct, gebaseerd op data van meer dan 38.000 commerciële bedrijven in 119 landen (Poore & Nemecek, 2018).

• Cementproductie

De cementsector is als bron van broeikasgassen minder bekend. Toch is cementproductie verantwoordelijk voor ongeveer 6% van het menselijk broeikaseffect. Daarmee is het de tweede meest vervuilende industriële sector. Cement is het basisbestandsdeel voor beton, na water het tweede meest geconsumeerde product ter wereld. Emissies in de cementproductie komen voort uit de verbranding van brandstoffen om kalksteen en klei op te warmen tot 1450 °C (40%), de kalkreactie zelf (50%) en het transport (10%) (Bosoaga et al., 2009). De kalk werd miljoenen jaren geleden gevormd door het bezinken van kalkhoudende skeletten van zeedieren, waarin CO₂ zit opgeslagen dat toen uit het zeewater (en dus onrechtstreeks uit de atmosfeer) werd opgenomen. Door dit kalk te verhitten komt de fossiele CO₂ terug in de atmosfeer (Fig. 7).

How cement is made



Source: Carbon Brief, Chatham House

BBC

Figuur 7. Productie van cement: kalksteen en klei op te warmen tot 1450°C. Door dit kalk te verhitten komt de fossiele CO₂ terug in de atmosfeer.

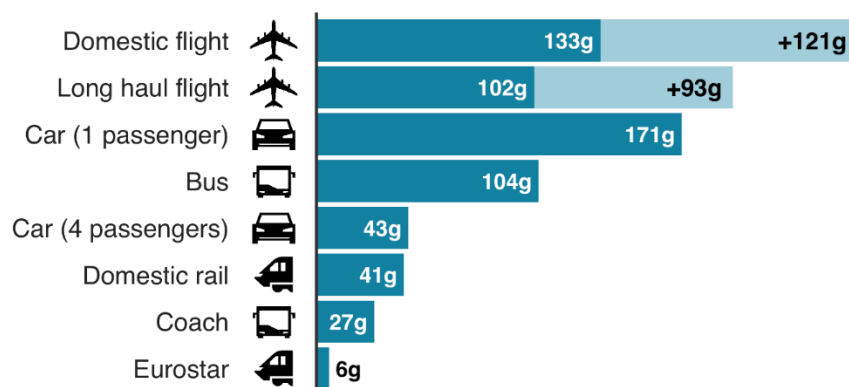
- **Vliegverkeer**

We vliegen steeds meer en steeds verder. In 2018 werden 39 miljoen vluchten geregistreerd waarvan 38 miljoen passagiersvluchten. Er wordt voorspeld dat het aantal passagiers mogelijk zal verdubbelen tot 8,2 miljard tegen 2037. Daartegenover staat dat vliegtuigen heel wat efficiënter zijn geworden. Het brandstofverbruik per passagier en per kilometer daalde tussen 1960 en 2000 met 70%. Alles samen is de luchtvaartsector (burgerluchtvaart en cargo) momenteel goed voor 2,4% van de wereldwijde uitstoot van broeikasgassen, volgens de International Air Transport Association (IATA). Dit is een stijging. Dat het aandeel van de luchtvaartsector vaak veel hoger wordt geschat heeft waarschijnlijk te maken met het feit dat een vliegtuigreis gemiddeld een grotere uitstoot met zich meebrengt dan een gelijkaardige auto- of treinreis. Maar aangezien er wereldwijd veel minder vliegtuigen (25.000 stuks) dan voertuigen (meer dan 1,2 miljard stuks) zijn, ligt het totale aandeel van de luchtvaartsector een stuk lager. Figuur 8 toont de CO₂-uitstoot van verschillende transportmiddelen. De uitstoot wordt weergegeven per persoon per kilometer. Daarnaast worden ook nog secundaire effecten in rekening gebracht. Dit is het broeikas effect veroorzaakt door waterdamp en de dunne wolkenlierten gevormd door hun uitlaat (IPCC, 2013).

Emissions from different modes of transport

Emissions per passenger per km travelled

■ CO2 emissions ■ Secondary effects from high altitude, non-CO2 emissions



Note: Car refers to average diesel car

Source: BEIS/Defra Greenhouse Gas Conversion Factors 2019

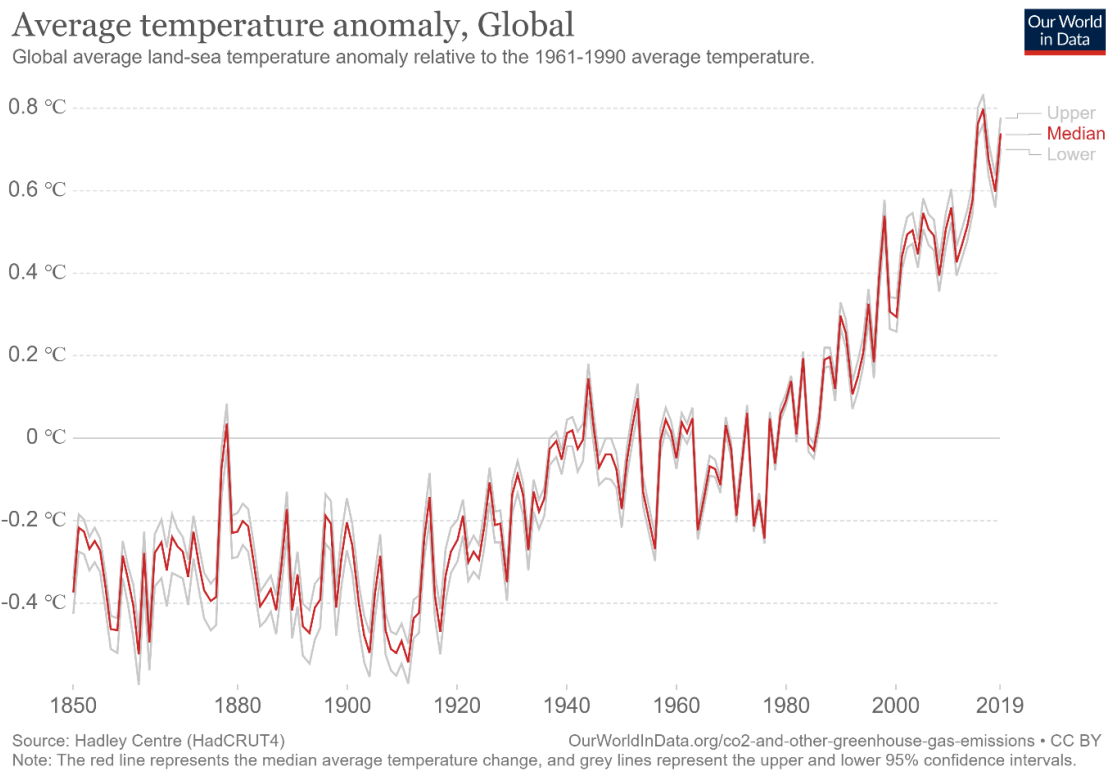
BBC

Figuur 8. De CO₂-uitstoot (per persoon per kilometer) van verschillende transportmiddelen. De secundaire effecten wijzen op het broeikaseffect veroorzaakt door waterdamp en de dunne wolkenlierten gevormd door hun uitlaat.

- **Rijsteelt**

In het zuurstofarme water van rijstvelden produceren bacteriën methaangas, zoals het natuurlijk plaatsvindt in moerassen. Alles samen staan rijstvelden in voor iets meer dan 1% van het antropogene broeikaseffect. Volgens onze gehanteerde indeling draagt rijsteelt dus nauwelijks bij tot de huidige klimaatopwarming. Ondanks deze kleine bijdrage aan de klimaatopwarming, blijft het belangrijk deze uitstoot te reduceren.

Vraag 7. Onderstaande grafiek toont de evolutie in de wereldwijd gemiddelde jaartemperatuur van 1850 tot 2018 ten opzichte van de referentieperiode 1961-1990 (Fig. 9). Duid de juiste stellingen aan.



Figuur 9. De evolutie in de wereldwijde gemiddelde jaartemperatuur van 1850 tot 2018 ten opzichte van de referentieperiode 1961-1990 (OurWorldInData, 2019).

In de grafiek zien we de wereldwijd gemiddelde jaartemperatuur ten opzichte van het gemiddelde van de periode tussen 1961 en 1990. De rode lijn geeft de gemiddelde jaarlijkse temperatuurtrend door de tijd heen weer, met de bovenste en onderste betrouwbaarheidsintervallen in lichtgrijs. De wereldwijd gemiddelde jaartemperatuur is sinds de pre-industriële tijd (referentieperiode 1850-1900) met meer dan één graad Celsius gestegen. We zien dat de afgelopen decennia de temperatuur is gestegen tot ongeveer 0,7°C hoger dan onze basislijn van 1961-1990. Als we teruggaan naar 1850, zien we dat de temperaturen toen nog 0,4°C kouder waren dan op onze basislijn. Als we dus rekenen vanaf de pre-industriële periode komt dit neer op een gemiddelde temperatuurstijging van 1,1°C.

Vraag 8. Op de klimaatopwarming in Parijs spraken regeringsleiders af om klimaatacties te ontwikkelen die verdere klimaatopwarming kunnen beperken. Hoeveel hoger mag de gemiddelde temperatuur volgens die afspraken maximaal stijgen, ten opzichte van vandaag?

In 2015 werd in Parijs het klimaatakkoord ondertekend waarbij 195 landen erkenden dat de klimaatveranderingen een bedreiging vormt voor de mensheid en de planeet. Ze gingen akkoord om actie te ondernemen om de opwarming van de aarde tegen te gaan. Concreet omvat dit akkoord drie maatregelen: (1) De stijging van de gemiddelde jaartemperatuur op aarde tegen 2100 moet “duidelijk onder” 2 °C worden gehouden ten opzichte van de pre-industriële periode. Bijkomende inspanningen zullen worden gedaan om de temperatuurstijging zelfs tot 1,5 °C te beperken. Hierbij dient opgemerkt te worden dat de gemiddelde temperatuur op aarde nu al 1,1 °C hoger ligt dan die in de pre-industriële periode. De gemiddelde temperatuur op aarde zou in de komende 80 jaar dus niet sneller mogen stijgen dan ze de afgelopen 120-170 jaar heeft gedaan. Volgens de laatste computersimulaties bereiken we deze tweegradengrens al rond 2036, bij een ongewijzigde beleid; (2) Om de temperatuurstijging onder de 2 °C te houden moet de uitstoot van broeikasgassen drastisch verminderen, in de grootteorde van 75-90% ten opzichte van vandaag tegen 2050-2070; (3) Ondersteuning van ontwikkelingslanden waarbij de rijke, westerse landen vanaf 2020 elk jaar samen 100 miljard euro in een klimaatfonds zullen storten, waarmee ontwikkelingslanden zowel de lokale gevolgen van de klimaatopwarming kunnen aanpakken en hun energietransitie kunnen financieren (Kriegler et al., 2018). Enig begrip van de implicaties van deze tweegradengrens is essentieel om de urgentie van de klimaatproblematiek te begrijpen.

Vraag 9. Voor welke van onderstaande situaties waarschuwen experts als gevolg van de klimaatopwarming in België? (Meerdere antwoorden mogelijk)

Enkele van de gevolgen waarmee we in België steeds meer te maken krijgen zijn o.a. **meer en langer durende hittegolven (meer droge zomers), meer overstromingen (vooral in de winter) en zwaardere stormen**. Men verwacht dat overal op aarde **hittegolven** vaker zullen voorkomen, langer zullen duren en hogere temperaturen zullen bereiken. Dit heeft gevolgen voor de menselijke gezondheid, vooral de ouderen en de allerjongsten, die het meest kwetsbaar zijn, zullen er last van hebben. Ook in België zal het klimaat opwarmen. Men verwacht een verdere verhoging van de temperaturen tussen 1 °C en 4 °C in de winter en tussen 2 °C en 7 °C in de zomer tegen het jaar 2100. De seizoenen zullen duidelijk veranderen: de zomers zullen droger en warmer worden, maar met hevige onweders, terwijl de winters vaker en meer neerslag zullen kennen. Ook het aantal hittegolven zal toenemen. Het KMI spreekt van een hittegolf wanneer de maxima in Ukkel gedurende minstens vijf opeenvolgende dagen tenminste 25 graden halen, waarbij op minstens drie dagen ten minste 30 graden gehaald wordt. 2019 was het vijfde jaar op rij dat België één of meerdere hittegolven ervoer, een fenomeen dat zich nooit eerder heeft voorgedaan sinds het begin van de temperatuurmetingen in 1833. Hoe warmer het is, hoe meer het water uit de bodem en de planten verdampt. De opwarming van het klimaat gaat dat proces versterken, waardoor in bepaalde delen van de wereld het risico op droogte en dus ook op branden zal vergroten. De opwarming van de atmosfeer en van de oceanen verhoogt de verdamping van water en versterkt de kracht van de wind, waardoor het risico op **stormen** toeneemt. Men stelt al vast dat het aantal stormen en hun kracht bijna overal ter wereld toenemen. In veel gebieden op aarde

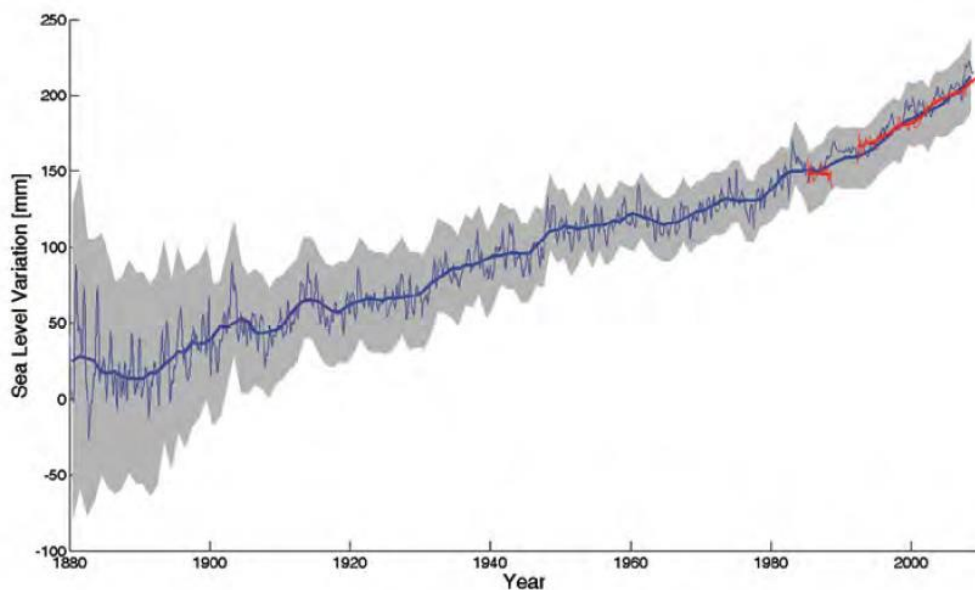
zullen er meer hevige regenbuien voorkomen, waardoor er ook meer gevaar voor **overstromingen** zal zijn. Deze overstromingen zullen vooral voorkomen in dichtbebouwde gebieden, waar de bodem geen water doorlaat. Na Nederland is België het Europese land dat op termijn het meeste last zal hebben aangezien 15% van het Vlaamse grondgebied minder dan vijf meter boven de zeespiegel ligt. De ander twee gevolgen die werden vernoemd nl. 'meer gevallen van huidkanker' en 'meer vervuilde waterlopen' zijn niet gelinkt met klimaatopwarming.

Vraag 10. Hoeveel hoger zal volgens klimaatwetenschappers de zeespiegel in 2100 staan, gerekend vanaf de pre-industriële periode?

De algemene stijging van de zeespiegel sinds 1901 bedraagt 20 cm (Fig. 10). Die stijging is veroorzaakt door:

- 1) Toename van het water-volume in de oceaan door de warmer wordende bovenlaag (wanneer water opwarmt, zet het uit en neemt het meer plaats in);
- 2) Het afsmelten van gletsjers (landijs) waardoor er meer water in de oceanen terecht komt;
- 3) Het smelten van Groenlandse en Antarctische ijskappen

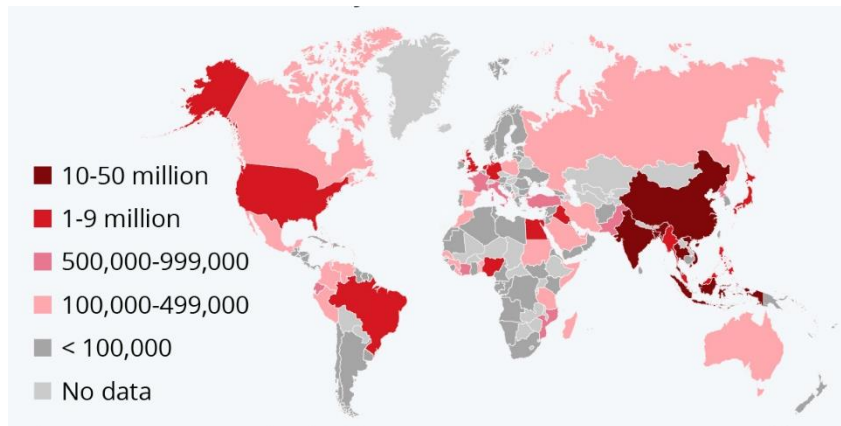
Het IPCC schrijft in zijn laatste rapport dat de zeespiegel tegen 2100 0,5 tot 1 meter hoger zal staan.



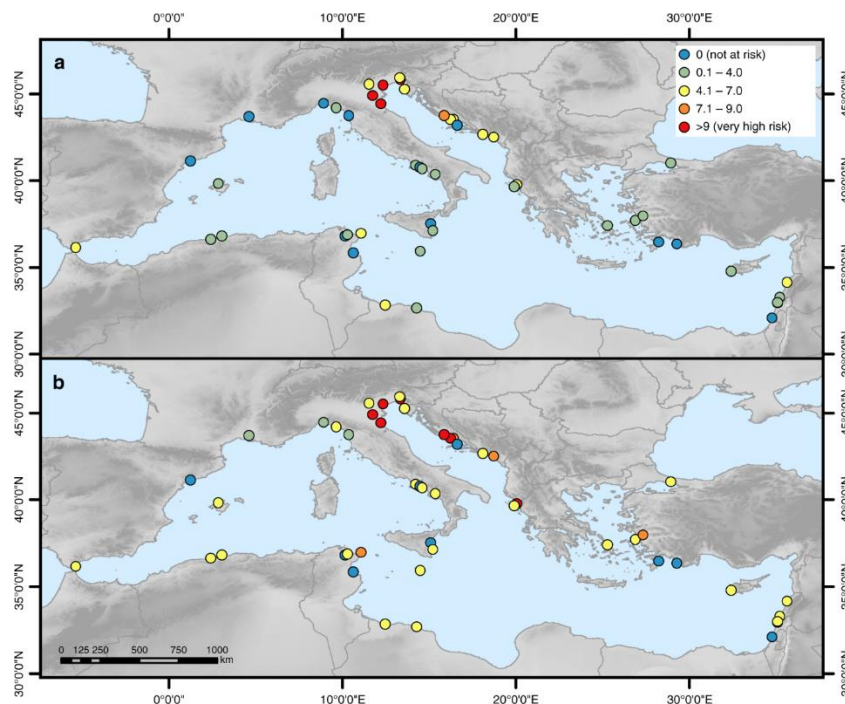
Figuur 10. De variatie in zeespiegelstijging (mm) doorheen de tijd (Shum & Kuo, 2011).

De stijging van de zeespiegel is één van de meest ernstige gevolgen van de klimaatverandering want een groot deel van de wereldbevolking leeft dichtbij de kust. Steden en dorpen langs laag-liggende vlakke kust worden bedreigd, maar ook de akkers en de grondwaterlagen worden 'brak' (hebben een zoute smaak en zijn ondrinkbaar). Volgens recent onderzoek zullen tegen 2100 200 miljoen mensen in de wereld onder de zeespiegel leven (Fig. 11: Scott & Strauss, 2019). Nog eens 160 miljoen mensen zullen worden getroffen door overstromingen als gevolg van de stijgende zeespiegel. Het model dat werd gebruikt gaat uit van een wereldwijde gemiddelde temperatuurstijging van 2° C en houdt zelfs geen rekening met de mogelijkheid dat de ijskappen versneld gaan smelten. Onderzoekers schatten dat 70% van de rechtstreekse slachtoffers van de zeespiegelstijging in Azië zullen wonen, waaronder China, Bangladesh, Indië, Vietnam, Indonesië, Thailand, de Filipijnen en Japan. In Europa zou

Nederland in theorie het meest getroffen zijn. Hier zullen in 2100 naar verwachting meer dan 4 miljoen mensen onder de zeespiegel leven. In Nederland wordt fors geïnvesteerd in dijken, duinen en dammen als maatregelen tegen overstromingen. Ook heel wat UNESCO-werelderfgoed-locaties in kustgebieden lopen steeds meer gevaar door de stijging van de zeespiegel (Fig. 12).

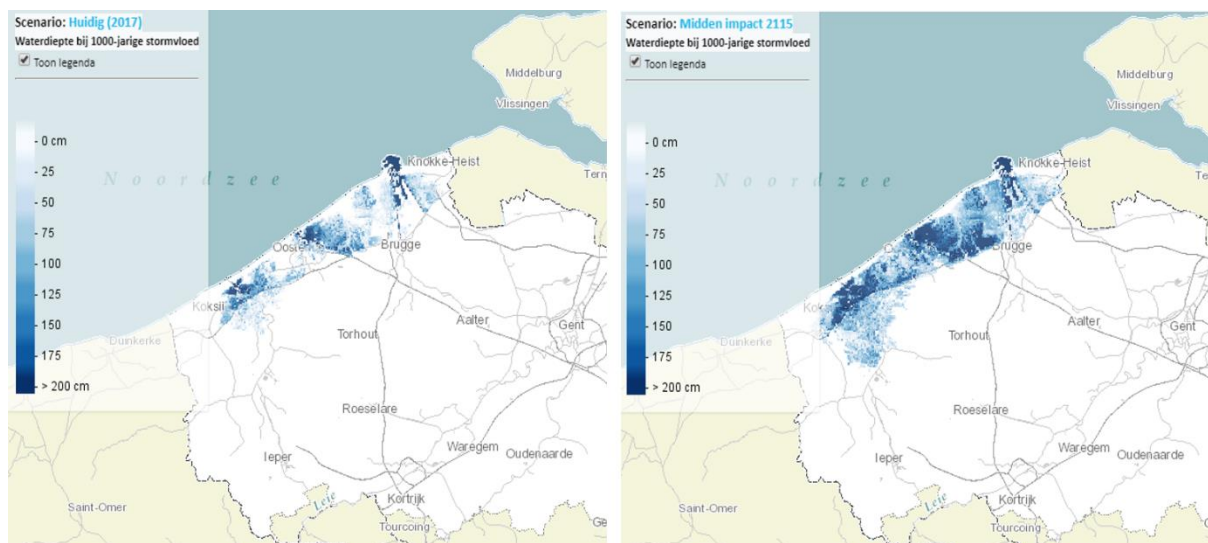


Figuur 11. Het aantal mensen per land die tegen 2100 onder de zeespiegel leven uitgaande van 50-70 cm zeespiegelstijging als gevolg van een gemiddelde temperatuurstijging van 2 °C (Scott & Strauss, 2019).



Figuur 12. Index van overstromingsgevaar op werelderfgoed-plaatsen rond de Middellandse Zee in a. 2000 en b. 2100 uitgaande van het scenario van sterke zeespiegelstijging (Reimann et al. 2018).

In Oostende is het zeeniveau sinds 1900 ongeveer 20 cm gestegen. Deze stijgende tendens wordt ook in andere meetstations (Nieuwpoort, Zeebrugge) waargenomen. Tegen het jaar 2100 zal aan de Belgische kust het zeeniveau 60 tot 90 cm hoger liggen dan aan het begin van de 20^{ste} eeuw. Figuur 13 toont de lokale waterdiepte bij overstroming. De linkse kaart toont de huidige zeespiegel, de rechtse kaart toont de zeespiegel in 2115 bij 'medium' scenario, dus ongeveer 75 cm hoger dan vandaag. De donkerblauwe gebieden zijn die welke nu al onder het zeeniveau liggen, en waar bij overstroming het water dus bovenaan de voordeur zou staan (>2 meter diep).

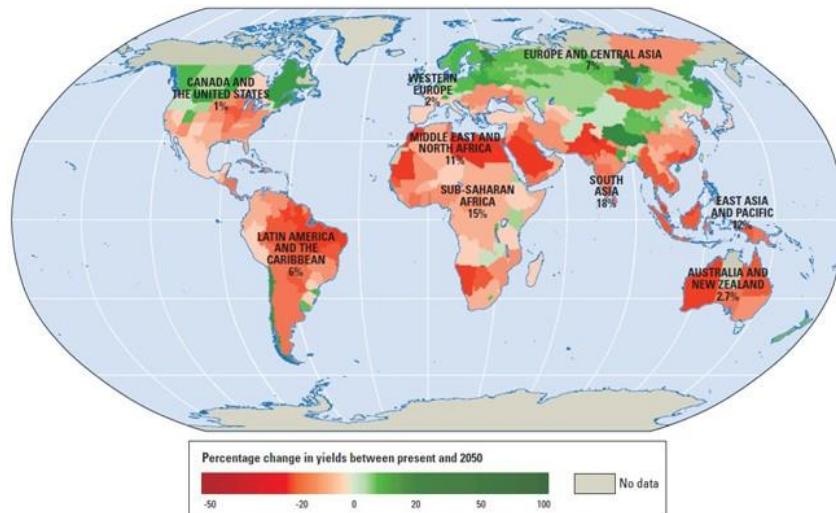


Figuur. 13. Een berekening van de risico's op overstromingen bij extreme stormen: links de verwachte schade in de huidige situatie, rechts bij een 'gematigd scenario' in 2100.

Vraag 11. Klimaatvluchtelingen zijn mensen die hun streek of land moeten verlaten vanwege de gevolgen van de klimaatverandering. Hoeveel klimaatvluchtelingen zullen er volgens de Verenigde Naties in 2050 zijn?

Hoewel de opwarming overal waarneembaar is, is de impact voor de verschillende regio's op aarde niet overal hetzelfde. Het is vooral in landen van het 'globale Zuiden' dat de gevolgen van de klimaatverandering het meeste schade zullen aanrichten: gebieden die onder water komen te staan, watertekorten, branden, overstromingen, epidemiën, enz. De meeste van die landen hebben een zeer beperkt aandeel in de totale CO₂-uitstoot. Bovendien beschikken die landen niet over de middelen om zich te beschermen en aan te passen. Om te overleven is de bevolking dus vaak genoodzaakt om te verhuizen naar regio's met een gastvrijer klimaat. De bevolking van heel wat landen in het Zuiden leeft hoofdzakelijk van de landbouw, wat zware economische gevolgen met zich meebrengt voor hen. Ter vergelijking: 77% van de Senegalese bevolking leeft van de landbouw tegenover amper 2% in België. Volgens het business-as-usual scenario zullen vooral landbouwers in het Midden-Oosten en in bepaalde delen van Afrika, Zuid-Amerika en Azië getroffen worden door misoogsten (Fig. 14). Dat zal de vluchtelingenstroom aanzienlijk doen toenemen. Ook de oogsten in België zullen naar schatting onder druk komen te staan na 2050.

Exacte voorspellingen over de hoeveelheid klimaatvluchtelingen is moeilijk, maar men neemt aan dat er tegen 2050 zo'n 100 miljoen en mogelijks zelfs tot 250 miljoen klimaatvluchtelingen zullen zijn (Adams et al., 2014). Daarom vragen deze landen om een klimaatrechtvaardigheid die rekening houdt met de verantwoordelijkheid van elk land naargelang zijn bijdrage aan de wereldwijde CO₂-uitstoot.



Figuur 14. Voorspelling van de gevolgen van de klimaatverandering op de landbouwopbrengst in 2050: groen voor regio's waar de landbouwopbrengsten hoger zullen zijn dan vandaag; rood voor regio's waar die lager zal zijn dan vandaag (klimaat.be).

Vraag 12. Klimaatveranderingen in het verleden kunnen ons veel leren over onze nabije toekomst. Beantwoord de volgende vijf stellingen.

1. De huidige klimaatopwarming gaat een pak sneller dan gelijk welke klimaatverandering in het verleden.

Juist. Metingen tonen aan dat de gemiddelde jaartemperatuur op aarde 1.1 °C is toegenomen t.o.v. het begin van de metingen 120-170 jaar geleden, of bijna 0,1 °C per decennium. Dit is tien keer sneller dan de snelste natuurlijke temperatuurstijging ooit geregistreerd, namelijk de opwarming die zich heeft voorgedaan op het eind van de laatste grote IJstijd 11.700 jaar geleden (Fig. 17).

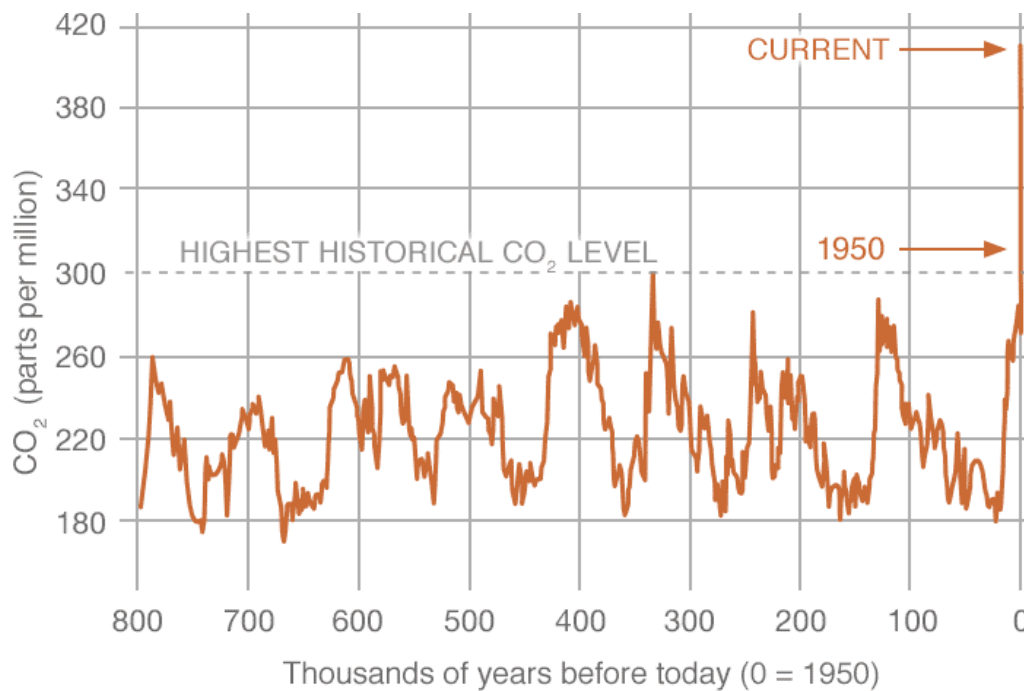
2. Als we niet opletten, wordt het binnen enkele eeuwen warmer dan het ooit geweest is.

Fout. In de loop van de aardgeschiedenis (de volledige 4,5 miljard jaar van de geologische tijdschaal) hebben er op tal van momenten grote klimaatveranderingen plaatsgevonden (Fig. 17). Tot zo'n 35 miljoen jaar geleden was het op aarde zo warm dat er nergens ijs te bespeuren viel en de zeespiegel ongeveer 70 meter hoger stond dan nu. Grote delen van de continenten waren dus bedekt door zeeën. Merk op dat deze klimaatveranderingen in het verleden uiterst geschikt zijn om mogelijke toekomstbeelden te schetsen voor de huidige klimaatverandering, afhankelijk van de nog bijkomende stijging in CO₂ concentratie.

3. De verwachte komst van een nieuwe ijstijd zal binnen enkele eeuwen de huidige opwarming compenseren.

Als we kijken naar de curve in figuur 15, zien we grote variatie in de CO₂ concentratie in de atmosfeer over de afgelopen 800.000 jaar. De dalen zijn de Kwartaire ijstijden en de pieken zijn de tussenijstijden. De precieze timing van wanneer een ijstijd overgaat in een tussenijstijd en omgekeerd wordt bepaald door variaties in de hellingsas van de aarde in haar omloop rond de zon, en in de vorm van de aardbaan in die omloop, en die hangen af van een aantal astronomische parameters die variëren over tijdschalen van 19.000 tot 100.000 jaar. Als we die astronomische parameters doorrekenen naar de toekomst blijkt dat de huidige tussenijstijd (het Holoceen) nog ongeveer 40.000 jaar zal duren en we pas over ongeveer 60.000 jaar een volgende ijstijd mogen verwachten. De sterke stijging in CO₂ sinds het begin

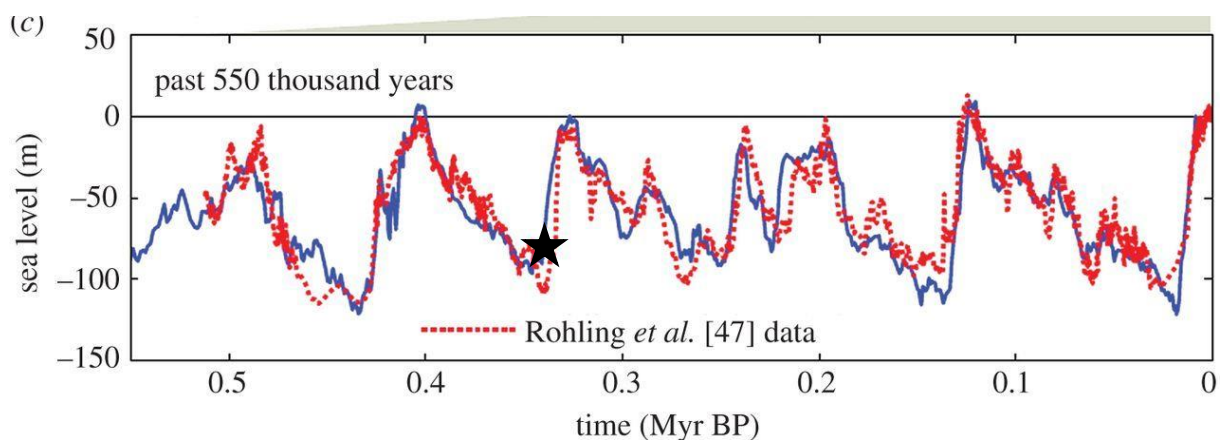
van de Industriële Revolutie (de huidige concentratie is met zekerheid hoger dan ooit in de afgelopen 3-4 miljoen jaar) maakt een abrupt einde aan deze astronomische dynamiek. De mens heeft de geologische klimaatevolutie doorgeknipt. Dus we evolueren helemaal niet naar een ijstijd omdat sinds het begin van de Industriële Revolutie menselijke activiteiten het klimaat op aarde bepalen.



Figuur 15. Variatie in de CO₂-concentratie (ppm) in de atmosfeer over de afgelopen 800.000 jaar.

4. Onze voorouders leefden ooit al eens in een wereld die warmer was dan vandaag, en de zeespiegel stond toen zes meter hoger.

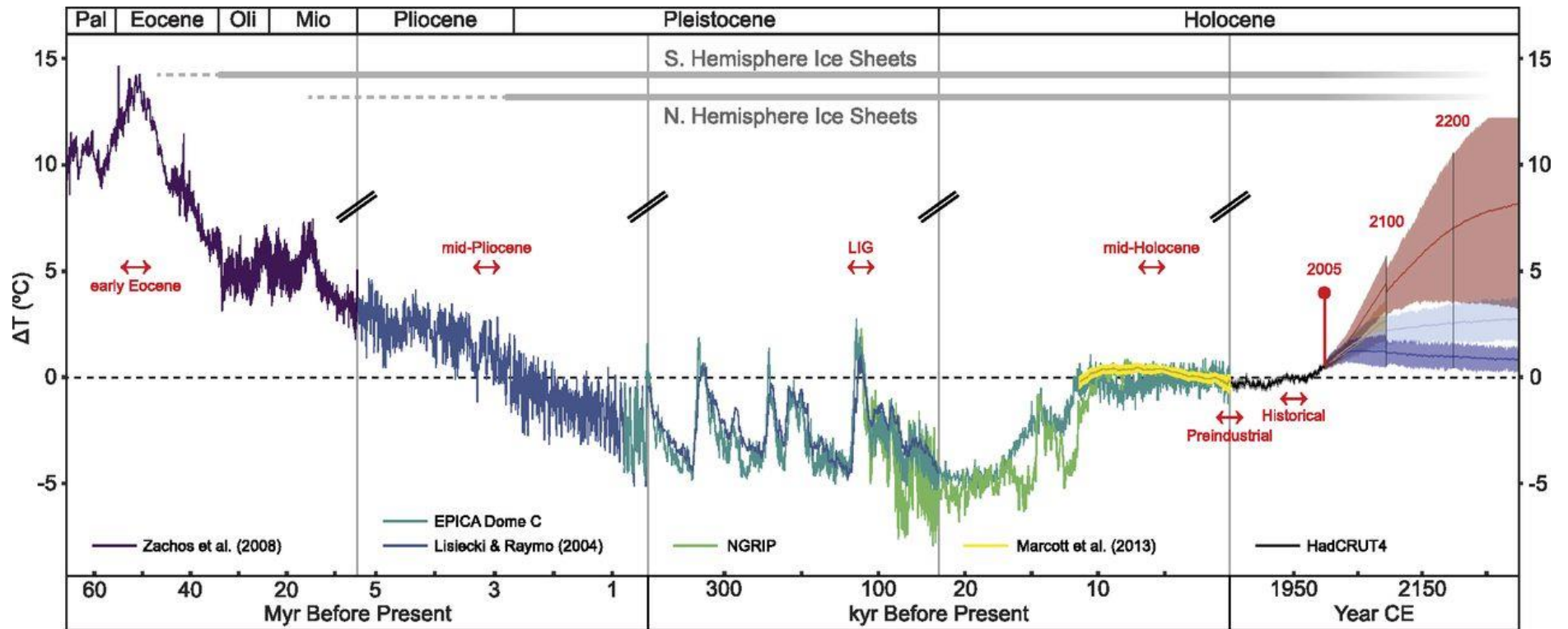
De huidige zeespiegel ligt ongeveer 125 meter hoger dan het pre-historische minimum tijdens de piek van de laatste grote (Kwartaire) ijstijd ongeveer 20.000 jaar geleden. De laatste keer dat de zeespiegel nog hoger stond dan nu (ongeveer 6 meter) was tijdens de Eem tussenijstijd, 120.000-130.000 jaar geleden (Murray-Wallace & Woodroffe, 2014). Als referentie: de soort *Homo sapiens* ontstond naar schatting 350.000 jaar geleden (aangeduid met de ster in figuur 16). Ons volledig bestaan heeft zich dus bijna uitsluitend afgespeeld in een wereld met veel lager zeeniveau dan vandaag.



Figuur 16. De gemiddelde zeespiegel over de laatste 550.000 jaar. De ster duidt het ontstaan van de soort *Homo sapiens* aan (350.000 jaar geleden) als referentiepunt (Hansen et al., 2013).

5. Het grootste deel van de aardgeschiedenis was het zo warm dat er helemaal geen ijskappen of gletsjers voorkwamen. In dat perspectief is het nu dus helemaal niet warm.

Juist. Maar toen bestond de mens niet (er waren zelfs nauwelijks grote zoogdieren) en zoals eerder aangehaald moeten we vooral de snelheid waarmee de aarde opwarmt bekijken en deze is zorgwekkend. De aarde warmte nu tien keer sneller dan de snelste natuurlijke temperatuurstijging ooit geregistreerd.

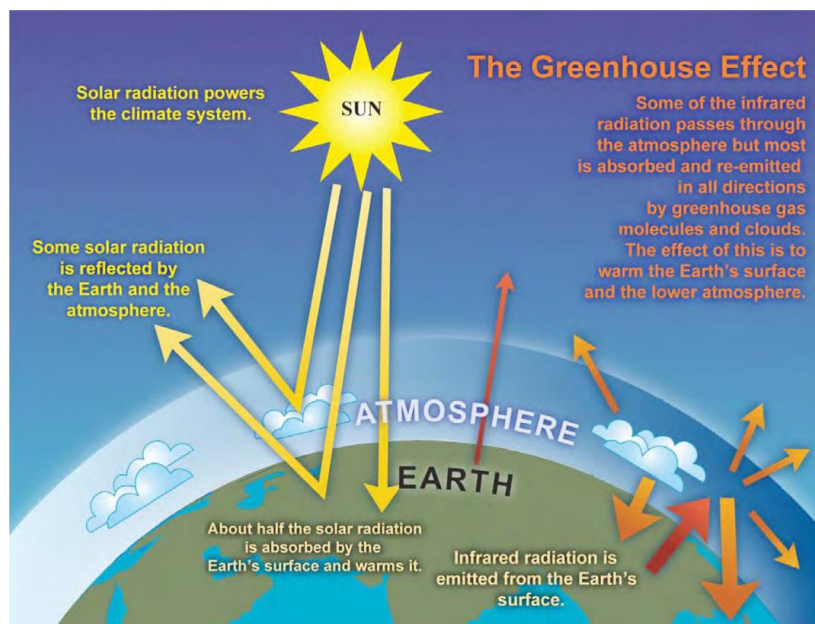


Figuur 17. Temperatuurtrends van de afgelopen 65 miljoen jaar en projecties toekomstige temperatuurstijging (Burke et al., 2018)

Vraag 13. Wat is het belangrijkste mechanisme waardoor CO₂-uitstoot door menselijke activiteiten de opwarming van de aarde veroorzaakt? (Slechts één antwoord)

Antwoord: het CO₂ belet dat de infrarood-straling de aardatmosfeer verlaat

Het klimaat dat wij op onze planeet kennen, is het resultaat van een natuurlijk evenwicht tussen 'invallende' en 'uitgaande' energie. De motor van dit ganse systeem is de zon. Zonne-energie komt de atmosfeer binnen onder de vorm van zichtbaar licht en ultraviolet (UV) straling. Een deel van die energie wordt weerkaatst door het aardoppervlak richting de ruimte maar het grootste deel wordt geabsorbeerd aan het aardoppervlak. De energie die geabsorbeerd wordt, wordt nadien door de aarde terug uitgezonden in de vorm van infrarood (IR) straling. Broeikasgassen in onze atmosfeer absorberen die IR straling en zenden het vervolgens terug uit in alle richtingen. Een deel ervan wordt uitgezonden richting de ruimte maar een ander deel wordt terug uitgezonden op aarde. En daarom is het op aarde warmer met broeikasgassen dan zonder broeikasgassen (Ali, 2013). Dit effect is ook zonder de aanwezigheid van de mens een feit. Mochten er geen broeikasgassen zijn, dan zou de gemiddelde temperatuur op aarde vandaag -18°C bedragen. De aarde zou eruit zien als een ijsbal en er zou geen leven op deze planeet kunnen bestaan. Maar dankzij de aanwezigheid van broeikasgassen is die gemiddelde temperatuur op aarde 15°C (Ali, 2013). Die broeikasgassen zorgen voor een broeikaseffect en we spreken in deze context van het **natuurlijke broeikaseffect** (Fig. 18). Door de verbranding van steenkool, olie en gas en in mindere mate door ontbossing, zorgen wij als mens voor een stijging van de concentraties van deze broeikasgassen in onze atmosfeer. We spreken in deze context over het **versterkt of menselijk broeikaseffect** dat bijgevolg leidt tot een verhoging van de gemiddelde aardtemperatuur en een globale klimaatverandering. (Greenhouse effect, 2020).



Figuur 18. Schematische weergave van het broeikaseffect (IPCC, 2008).

Vraag 14. Als we met vier personen naar het zuiden van Frankrijk (1000 km) rijden in een middelgrote auto met benzinemotor, stoten we ongeveer 40 kg CO₂ per persoon uit. Hoeveel bedraagt de CO₂-uitstoot (per persoon) als we dezelfde afstand afleggen per vliegtuig, trein, terreinwagen (4x4), hybride auto, bus en dieselwagen?

Elk transportmiddel wordt hieronder besproken. Op basis van deze data werd een tabel opgesteld (Tabel 1). Ook figuur 19 geeft de CO₂-uitstoot van verschillende voertuigen weer. Merk op dat de cijfers in de tabel enkel de directe CO₂-uitstoot door verbranding weergeven, ook wel 'tank-to-wheel' genoemd. Ook indirect ('well-to-tank') wordt een grote hoeveelheid energie verbruikt, voornamelijk bij het productieproces van de brandstof. Er komt dus ook op dat moment CO₂ vrij (10 tot 30% bovenop de uitstoot van het directe energieverbruik). Bij vergelijking van cijfers uit verschillende bronnen is het dus belangrijk te checken welke indirecte bijdragen al dan niet in rekening werden gebracht; sommige indirecte bijdragen zijn ook moeilijk in te schatten.

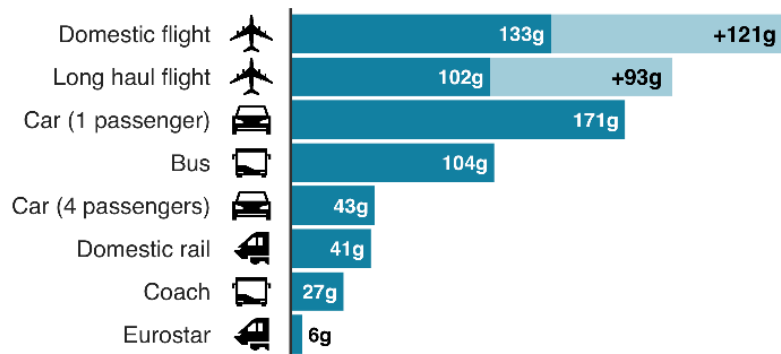
Tabel 1. Overzicht CO₂-uitstoot per vervoersmiddel

	10 kg	20 kg	30 kg	40 kg	60 kg	80 kg	130 kg	160 kg
Vliegtuig								
Trein								
4x4-wagen								
Hybride auto								
Bus								
Dieselwagen								

Emissions from different modes of transport

Emissions per passenger per km travelled

■ CO₂ emissions ■ Secondary effects from high altitude, non-CO₂ emissions



Note: Car refers to average diesel car

Source: BEIS/Defra Greenhouse Gas Conversion Factors 2019

BBC

Figuur 19. De CO₂-uitstoot (per persoon per kilometer) van verschillende transportmiddelen. De secundaire effecten wijzen op het broeikaseffect veroorzaakt door de waterdamp en dunne wolkenlierten gevormd door de uitlaat van hoogvliegende straalvliegtuigen.

- **Vliegtuig**

De CO₂-uitstoot per persoon wanneer het vliegtuig genomen wordt, hangt af van verschillende factoren o.a. van de hoeveelheid plaats die een passagier proportioneel inneemt en of het over een binnenlandse vlucht of een langeafstandsvlucht gaat. Langeafstandsvluchten in business en first class stoten respectievelijk drie en vier keer meer CO₂ uit per persoon per kilometer dan economy class. Dit heeft vooral te maken met de extra ruimte die voorzien wordt in business en first class, die normaal zou kunnen ingenomen worden door extra personen. Meer plaats per persoon wil zeggen dat elke persoon voor een groter deel bijdraagt aan de totale uitstoot van het vliegtuig. In Figuur XX worden enkel de cijfers van economy class weergegeven. Er is ook een verschil tussen binnenlandse vluchten (133 g CO₂/km per persoon) en langeafstandsvluchten (102 g CO₂/km per persoon): het opstijgen verbruikt het meeste brandstof. Bij korte vluchten draagt deze opstijgfase dus relatief meer bij t.o.v. de totale vlucht. Dit betekent ook dat directe vluchten minder uitstoten dan vluchten waarbij een tussenstop wordt voorzien. Sommige luchtvaartmaatschappijen zijn beter in het opvullen van zoveel mogelijk plaatsen. Zo is er dus ook variatie van de uitstoot mogelijk tussen passagiers van verschillende luchtvaartmaatschappijen. Ook indirecte effecten moeten worden meegerekend. Het effect van 'niet-CO₂-emissies' van de luchtvaartsector heeft ook een grote impact op het klimaat. De waterdamp en dunne wolkenlierten gevormd door de uitlaat van hoogvliegende straalvliegtuigen dragen ook bij tot een opwarmend effect, maar deze secundaire effecten worden vaak niet in rekening gebracht (BBC, 2019). Voor binnenlandse vluchten en langeafstandsvluchten bedraagt het indirect effect respectievelijk 121 g CO₂/km en 93 g CO₂/km per passagier. Daartegenover staat dat vliegtuigen de laatste decennia heel wat efficiënter zijn geworden. Het brandstofverbruik per passagier en per kilometer daalde tussen 1960 en 2000 met 70% (IATA, 2015).

- **Trein**

De trein stoot vrijwel altijd minder CO₂ uit dan het vliegtuig. Toch moet er opnieuw rekening gehouden worden met een aantal factoren inclusief het type trein bv. een trein die rijdt op diesel of elektriciteit. Een dieseltrein heeft een tot tweemaal hogere uitstoot dan die op elektriciteit. De CO₂-uitstoot van treinen die rijden op elektriciteit is afhankelijk van hoe die elektriciteit werd opgewekt. Bijvoorbeeld in Frankrijk wordt 75% van de elektriciteit opgewekt door kerncentrales, terwijl Polen 80% van haar elektriciteit opwekt door het verbranden van steenkool. Er moet ook rekening gehouden worden met het aantal passagiers in de trein (dit is trouwens zo voor elk transportmiddel). Een trein die rijdt tijdens de spitsuren zal een lagere CO₂-uitstoot hebben per persoon dan laat-avondritten (BBC, 2019). Gemiddeld genomen is de CO₂-uitstoot van een trein op elektriciteit ongeveer tussen 41 g CO₂/km per persoon (BBC, 2019).

- **Terreinwagen (4x4):**

Auto's met vierwielaandrijving (o.a. betere grip, sterkere motor) hebben een hoger brandstofverbruik (Fontaras et al., 2017). Een 4x4 wagen op benzine heeft een uitstoot van ongeveer 301 g CO₂/km per persoon en een 4x4 wagen op diesel ongeveer 247 g per persoon CO₂/km (DEFRA, 2010).

- **Hybride auto:**

Een hybride auto combineert twee motoren onder de motorkap. Enerzijds heb je een verbrandingsmotor, bijvoorbeeld met benzine. Anderzijds is er een elektrische motor met bijbehorende accu. Nieuwste hybridewagen (bv. Toyota Prius): 84 g CO₂/km (<http://catalogues.toyota.be/nl/prius/?page=24>).

- **Bus:**

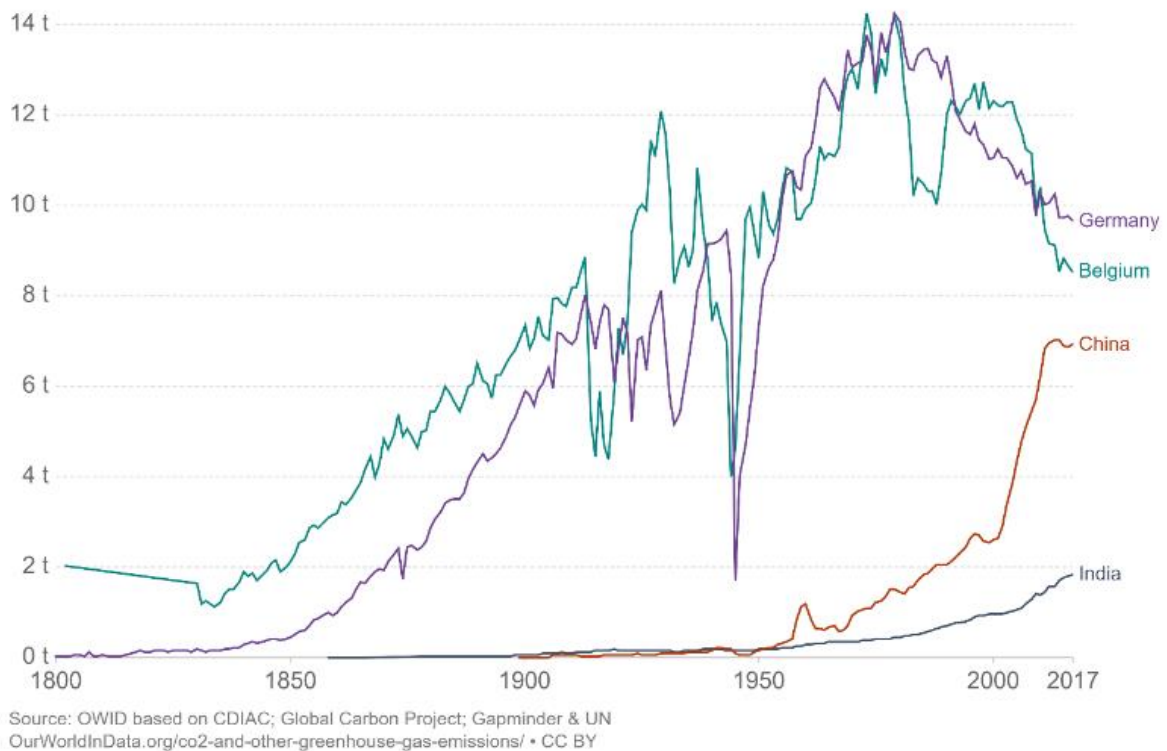
Een gemiddelde standaardbus (diesel, 40 l/100km, 14 inzittenden) verbruikt 75 g CO₂/km. Een hybride standaardbus verbruikt 60 g CO₂/km. Dit is een brandstofreductie van 20% t.o.v. de standaardbus (De Lijn).

- **Dieselwagen:**

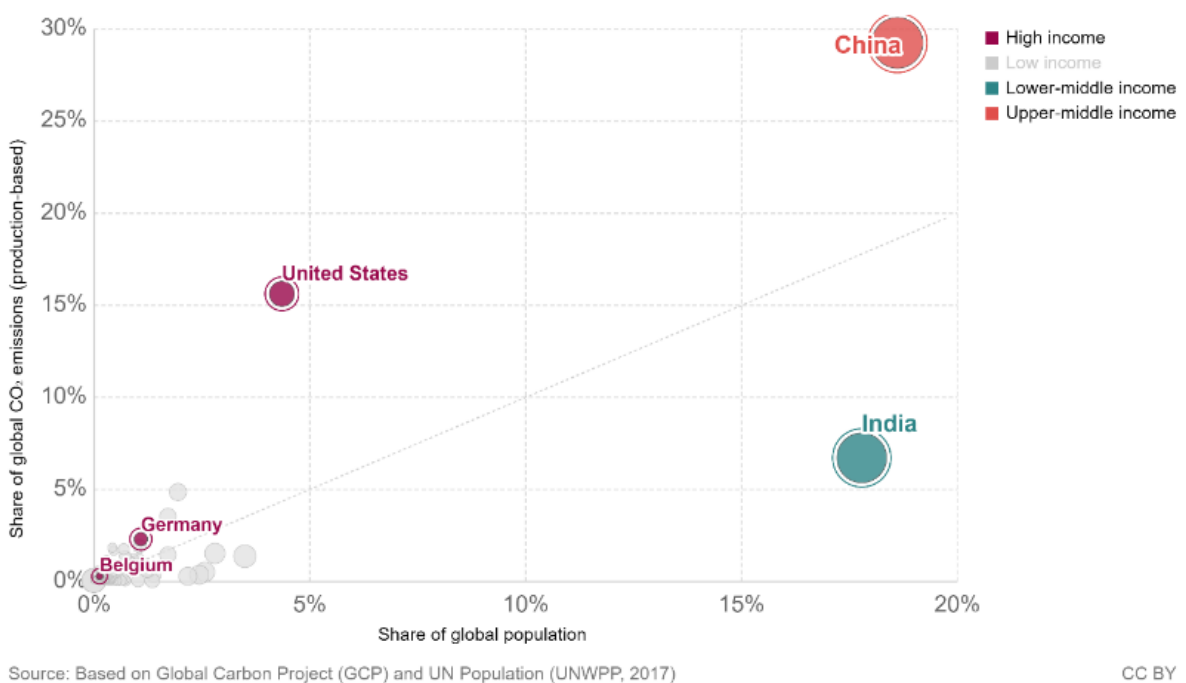
Een gemiddelde dieselwagen heeft een CO₂-uitstoot van 127 g/km per persoon. Dieselauto's hadden tot het jaar 2001 een veel hogere CO₂-uitstoot dan benzineauto's. Vanaf 2001 is de CO₂-uitstoot van nieuwe dieselauto's en benzineauto's nauwelijks te onderscheiden (Helmets et al., 2019).

Vraag 15. Onderstaande grafieken tonen de evolutie van jaarlijkse CO₂ uitstoot per persoon (in ton) in Duitsland, China en India over de afgelopen 220 jaar (boven), en het huidige aandeel van die landen in de mondiale CO₂ uitstoot ten opzichte van andere landen (onder). Op basis van deze informatie, duid de correcte bewering(en) onder de grafieken aan. (Meerdere antwoorden mogelijk)

We kunnen de bijdrage van de gemiddelde burger van elk land berekenen door de totale uitstoot van dat land te delen door het bevolkingsaantal (Fig. 20). Dit geeft ons de CO₂-uitstoot per capita of per inwoner. De per capita uitstoot in deze grafieken is de op productie gebaseerde uitstoot - dat wil zeggen, alle uitstoot die binnen de grenzen van een land wordt gedaan zonder rekening te houden met de manier waarop in dat land geproduceerde goederen over de hele wereld worden verhandeld. Het zijn deze lokale productiecijfers die in aanmerking worden genomen voor de klimaatdoelstellingen. Aan de hand van historische reconstructies zijn dergelijke cijfers beschikbaar vanaf het midden van de 18e eeuw, vanzelfsprekend met een zekere onzekerheidsmarge. Daaruit blijkt dat er tussen de landen grote ongelijkheden zijn in de per-capita CO₂-uitstoot. Ze is het grootst in de belangrijkste olieproducerende landen in het Midden-Oosten zoals Qatar, Verenigde Arabische Emiraten en Saoedi-Arabië (hier niet weergegeven). Het land met de hoogste per capita uitstoot in de bovenste grafiek is Duitsland (10 ton per persoon). Dat van China ligt iets lager (7 ton per persoon). Indië heeft een zeer lage per-capita uitstoot: 2 ton per inwoner. Van deze grafiek is ook af te leiden dat op het einde van Wereldoorlog II de gemiddelde Duitser werd terug-gekatapulteerd naar de periode rond 1850, maar wel nog altijd een even grote voetafdruk had dan de gemiddelde Indiër vandaag. In figuur 21 wordt het aandeel van elk land in de wereldwijde CO₂-uitstoot (op de y-as) uitgezet tegen het aandeel van de wereldbevolking (op de x-as). Merk op dat dit opnieuw gebaseerd is op de productie-gerelateerde uitstoot. De bubbels voor elk land zijn gekleurd op basis van de gemiddelde inkomensgroep, volgens de Wereldbank. Als een land een aandeel in de wereldwijde uitstoot heeft dat gelijk is aan zijn aandeel in de bevolking, dan zou het op de grijze lijn liggen. Landen die boven deze lijn liggen, hebben een uitstoot die hoger is dan hun aandeel in de bevolking, landen die eronder liggen, stoten minder uit dan hun aandeel.



Figuur 20. De evolutie van jaarlijkse CO₂ uitstoot per persoon (in ton) in Duitsland, China en India over de afgelopen 220 jaar (OWID, 2017).



Figuur 21. Het aandeel van elk land in de wereldwijde CO₂-uitstoot (op de y-as) uitgezet tegen het aandeel van de wereldbevolking (op de x-as) (OWID, 2017).

Met deze informatie kan je de volgende stellingen oplossen:

Stelling 1. Een chinees stoot gemiddeld meer CO₂ uit dan een Duitser.

Fout; dit is af te leiden uit grafiek 1. Een gemiddelde Duitser stoot gemiddeld meer CO₂ uit dan een gemiddelde Chinees.

Stelling 2: China telt meer inwoners dan Duitsland

Juist; dit is af te leiden uit grafiek 2. Daar zie je dat de bevolking van China rond 18% van de totale wereldpopulatie uitmaakt, terwijl die van Duitsland minder dan 1% uitmaakt.

Stelling 3: de koolstofvoetafdruk van de gemiddelde Indiër is groter dan die van de gemiddelde Duitser.

Fout; dit is af te leiden uit grafiek 1. Een Duitser stoot gemiddeld meer CO₂ uit dan een gemiddelde Indiër, zowel nu als in gelijk welke periode van de afgelopen 220 jaar.

Stelling 4: De per capita CO₂ uitstoot van Indië is in de afgelopen 40 jaar meer dan verviervoudigd.

Juist; Indië is gemiddeld van 0,42 ton per inwoner naar 1,84 ton per inwoner gegaan: een ruime verviervoudiging. Toch stoot Indië nog steeds aanzienlijk minder uit dan zijn aandeel (7% van de emissies vs. 18% van de bevolking).

Stelling 5: de gemiddelde Duitser stoot nu 10% minder CO₂ uit dan 40 jaar geleden.

Fout; de gemiddelde Duitser toont de laatste 40 jaar een sterke reductie van ongeveer 30% (af te leiden uit grafiek 1). Daar zie je dat ze een piek bereiken rond 1980 met ongeveer 14 ton per inwoner. Dit wordt gereduceerd tot ongeveer 10 ton per inwoner in 2017.

Stelling 6: de CO₂ uitstoot van de gemiddelde Amerikaan is nog steeds de hoogste ter wereld.

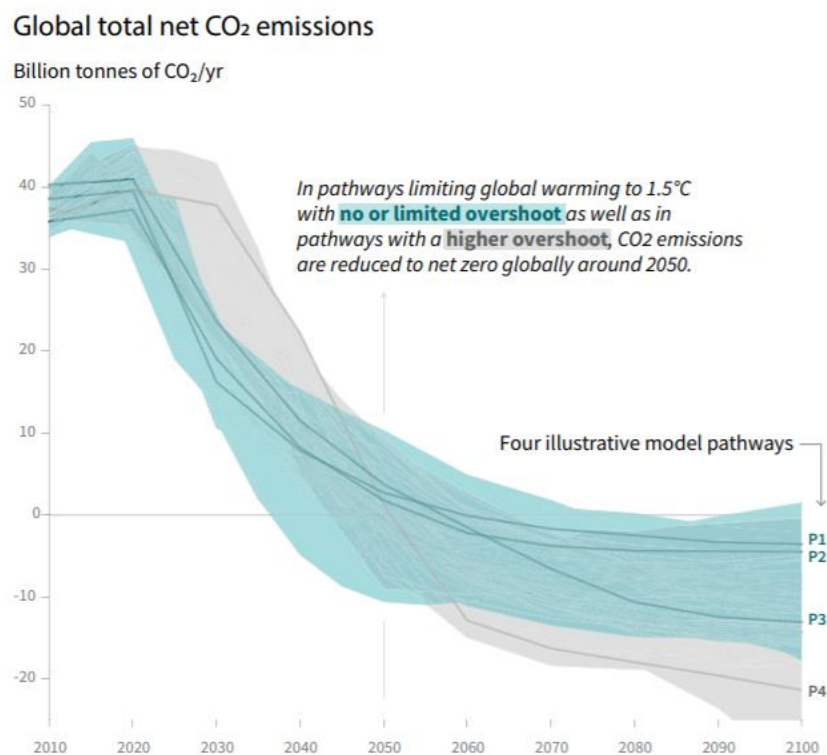
De Verenigde Staten werd met opzet niet in de bovenste grafiek opgenomen. Op het eerste zicht volstaan de grafieken dus niet om te antwoorden op stelling 6, maar het kan worden afgeleid uit de onderste grafiek. De Verenigde Staten is namelijk het land met de hoogste ratio tussen de Y-waarde en de X-waarde (met uitzondering van enkele oliestaten, die niet op deze grafiek geplot zijn).

Vraag 16. Wat bespaart het meeste CO₂ per jaar? Geef een nummer van 1 tot 6 (1: meest besparend, 6: minst besparend)

1. Geen vliegvakantie naar Spanje (4 personen) spaart ongeveer 4600 kg CO₂ per jaar.
2. Met de trein naar het werk en niet met de auto (220 werkdagen) bespaart ongeveer 4000 kg CO₂ per jaar.
3. Isoleren van dak, vloer en spouwmuren bespaart ongeveer 3100 kg CO₂ per jaar.
4. Met de trein naar Spanje en niet met het vliegtuig bespaart ongeveer 1600 kg CO₂ per jaar.
5. Overstappen naar een jaar met een elektrische auto rijden bespaart ongeveer 1500 kg CO₂ per jaar.
6. 10 zonnepanelen leggen (16,5 m²) bespaart 1000 kg CO₂ per jaar.

Vraag 17. Om de klimaatdoelstellingen te halen, moet ons land inspanningen leveren om de uitstoot van CO₂ en andere broeikasgassen te verminderen. Met hoeveel procent moet de uitstoot van broeikasgassen in alle industrielanden waaronder België naar beneden tegen 2050?

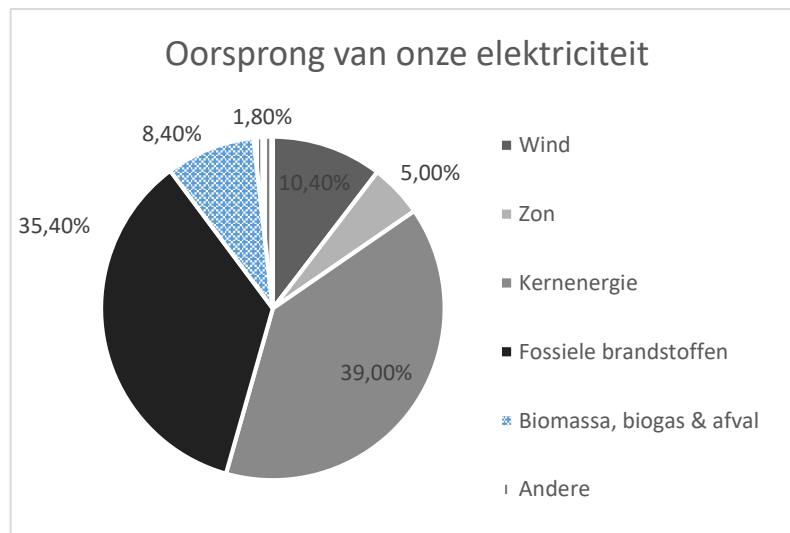
Het IPCC stelt volgende maatregelen voor om de temperatuurstijging tot 1,5 °C te beperken: (1) een sterke daling van de wereldwijde CO₂ uitstoot in de komende 10 jaar, met in de meeste gevallen een halvering van de CO₂ uitstoot tegen 2030; (2) wereldwijd klimaatneutraal tegen 2050; (3) realisatie van een negatieve uitstoot na 2050 (IPCC, 2018). Het verwezenlijken van dergelijke reducties brengt aanzienlijke technologische, economische en sociale uitdagingen met zich mee. Toch is het technisch gezien mogelijk om dit te bereiken, maar de beleidsmakers hebben de sleutel in handen om dit waar te maken. Dat lukt alleen door gebruik van steenkool, olie en gas zo snel mogelijk overboord te kieperen en prompt de koolstofarme alternatieven te omarmen (IPCC, 2013). Deze koolstofarme alternatieven vormen de kern van de klimaatoplossing. Ook tien korte termijndoelstellingen werden door klimaatwetenschappers naar voren geschoven om op koers te blijven naar een +1,5 graden wereld (Kuramochi et al., 2018). Dit houdt onder andere in dat in 2035 de laatste wagen aangedreven op fossiele brandstof verkocht wordt, dat vanaf 2020 elk nieuw gebouw klimaatneutraal is en dat er over enkele jaren wereldwijd netto geen ontbossing meer gebeurt. Kortom, klimaatverandering vormt één van de grootste uitdagingen voor onze maatschappij en natuurlijke ecosystemen en de maatregelen die zullen genomen worden als maatschappij in de komende jaren, zullen bepalen welke opwarming de aarde zal meemaken.



Figuur 22. De evolutie van de wereldwijde netto antropogene CO₂-uitstoot die de opwarming van de aarde moet beperken tot 1,5°C (IPCC, 2018).

Vraag 18. De elektriciteit die in België wordt geproduceerd komt voort uit verscheidene energiebronnen. Welke van onderstaande grafieken benadert het best het aandeel van elk van deze bronnen in onze huidige elektriciteitsproductie?

Correcte antwoord: grafiek 1 (Fig. 23)



Figuur 23. Oorsprong van de elektriciteit die in België wordt geproduceerd (gebaseerd op <https://www.febeg.be/Jaarverslag-2018#cijfers>).

Wanneer we het over energie hebben, denken we vaak meteen aan elektriciteit. Dan is het goed om te weten dat slechts 17% van het energieverbruik in België bestaat uit elektriciteit; het overgrote deel van onze energie (vb. voor transport) wordt rechtstreeks geleverd door verbranding van fossiele brandstoffen. Van de elektriciteit die we in België verbruiken, is momenteel 25,6% afkomstig van hernieuwbare energiebronnen zoals wind (10,4%), zon (5%) en biomassa (8,4%). Biomassa omvat de zogenaamde hernieuwbare brandstoffen, waarbij een heel strikt beleid nodig is om te kunnen spreken van een echt hernieuwbare en duurzame sector. Biomassa is in principe hernieuwbaar: voorraden raken niet uitgeput (anders dan fossiele brandstoffen zoals aardolie, steenkool en aardgas), het kan immers weer aangroeien. Bij die groei wordt kooldioxide (CO₂) uit de lucht gehaald door alle groeiende planten; bossen zijn hierin het belangrijkste. Bij het verbranden van biomassa komt die CO₂ terug vrij, maar netto wordt aan de atmosfeer dus geen CO₂ toegevoegd. De vraag is echter of dit in de praktijk ook zo werkt. Bij welke vormen van biomassa wel, en bij welke niet? Vormen van bio-energie die zeker CO₂-voordeel kunnen geven vergeleken met fossiele brandstoffen, zijn onder andere biogas (vnl. CH₄ dat wordt gevormd door gisting van organisch afval) en het verbranden van organisch afval. Er is vooral discussie over het landgebruik dat nodig is om biomassa te verbouwen: als bos moet verdwijnen voor de gewassen waaruit energie wordt gewonnen, komt er ook een grote hoeveelheid koolstof vrij die in de bodem opgeslagen is. En de grond waarop energiegewassen worden geteeld, kan niet worden gebruikt voor het verbouwen van voedsel. Elektriciteit wordt in België voor 39% geproduceerd uit kernenergie. Binnen de energiemix zijn fossiele brandstoffen goed voor 35,4% van onze elektriciteitsproductie.

Vraag 19. Welke van onderstaande energiebronnen produceert de meeste broeikasgassen bij een gelijke hoeveelheid energieproductie? (Eén antwoord)

Van de drie belangrijkste fossiele brandstoffen is steenkool veruit het meest vervuilend. Steenkool produceert twee keer zoveel CO₂ per eenheid energie als methaan. Daardoor is steenkoolverbranding tot op vandaag de grootste uitstoter van broeikasgassen: 45%. Olie- en gasverbranding staan in voor respectievelijk 35% en 20%.

Vraag 20. Welke van onderstaande energiebronnen zijn hernieuwbaar? (Meerdere antwoorden mogelijk)

Hernieuwbare energiebronnen zijn energiebronnen die zich op natuurlijke wijze hernieuwen. Het huidige verbruik ervan beperkt dus niet het toekomstige verbruik. Ook komen er geen broeikasgassen zoals CO₂ vrij. We noemen ze daarom “groene” energiebronnen. Willen we de opwarming van de aarde beperken tot maximum 1,5 °C, dan zal de wereldwijde uitstoot van CO₂ tegen ongeveer 2050 tot nul moeten worden herleid. Om dat te realiseren zullen we beroep moeten doen op 100% hernieuwbare energie uit **zon, wind, water, getijden, aardwarmte, biomassa, enz.**

Steenkool is geen hernieuwbare energiebron. Steenkool werd in het geologisch verleden gevormd door afzettingen en bewaring van plantenresten, die tijdens hun leven CO₂ uit de atmosfeer hadden opgenomen. Door deze fossiele plantenresten te verbranden wordt die CO₂ de lucht in geblazen.

Waterstof is geen energiebron omdat het niet uit de grond kan worden gehaald. Het moet geproduceerd worden. Dit gebeurt onder meer via elektrolyse. Er is dus energie (elektriciteit) nodig om waterstof te creëren. Daarom is waterstof een energiedrager: een manier om energie op te slaan.

Uranium is geen duurzame energiebron omdat het niet onbeperkt beschikbaar is. Het is tevens hoogradioactief afval met een lange levensduur, en dus schadelijk voor het milieu.

22. Bonusvraag: Wat doen jij en/of je ouders nu al concreet om verdere klimaatopwarming tegen te gaan, of wat ben je van plan te doen? Geef twee (niet meer dan twee) volgens jou belangrijke voorbeelden.

Hier zijn uiteraard meerdere antwoorden mogelijk. Hieronder worden tien acties beschreven volgens het boek van Pieter Boussemaere ‘Tien klimaatacties die werken’ die ieder van ons kan uitvoeren. Sommige acties vragen tijd en/of geld, maar de meeste acties zijn onmiddellijk uitvoerbaar en voor iedereen toegankelijk. Meer details vind je op <https://10klimaatacties.be/>

Actie 1: Informeer jezelf.

Actie 2: Beïnvloed je omgeving: bv. ga het onderwerp niet uit de weg en durf erover praten met familie en vrienden zodat ze bewust worden.

Actie 3: Beïnvloed je (lokale) overheid: bv. stem op politici die de klimaatproblematiek ernstig nemen, neem deel aan klimaatmanifestaties, ijver mee voor eerlijke belastingen op vliegtickets, ondersteuning van CO₂-taks.

Actie 4: Kies de juiste elektriciteit (kies voor echte groene stroom, wek je eigen groene stroom op (zonnepanelen) of samen met anderen (coöperaties).

Actie 5: Spring verstandig om met elektriciteit: kies voor ledverlichting, kies voor apparaten met een laag energieverbruik, voorlopig te herkennen aan energielabel A+++.

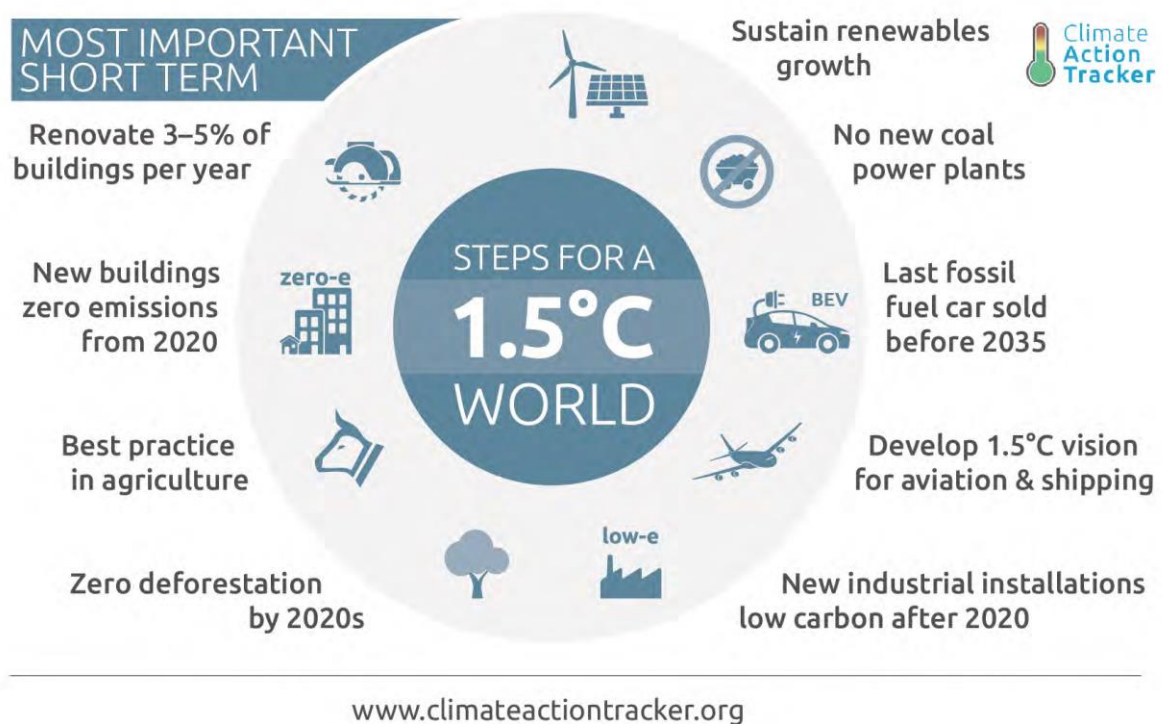
Actie 6: Kies de juiste motor: kies voor wagens met een lage uitstoot, overstap naar elektrisch vervoer, verkies de fiets als vervoersmiddel.

Actie 7: Beperk vliegereizen en compenseer.

Actie 8: Isoleer, isoleer, isoleer: Het klimaatneutraal krijgen van een woning begint met een goede isolatie.

Actie 9: Kies de juiste verwarmingsbron: kies ervoor om een koolstofarme verwarmingsbron in huis te halen, eentje zonder olie of gas. Kies daarom sowieso voor vloer- of wandverwarming, of lage-temperatuurradiatoren.

Actie 10: Vermijd runds- en lamsvlees. Minder vlees en zuivel eten levert grote klimaatwinsten op. Daarvoor hoef je geen vegetariër of veganist te worden, eerder een flexitariër.



Figuur 24. Tien belangrijke korte-termijnstappen die belangrijke sectoren moeten nemen om de wereldwijde temperatuurstijging te beperken tot 1,5°C (www.climateactiontracker.org).

Bibliografie

- Ali, M. (2013). The greenhouse effect. In climate change impacts on plant biomass growth. *Springer: Dordrecht Heidelberg New York London*, 13-27.
- BBC News. (2019). Climate change: Should you fly, drive or take the train? Geraadpleegd op 5 augustus 2020, van <https://www.bbc.com/news/science-environment-49349566>
- Boussemaere, P. (2016). De aarde warmt op door een gat in de lucht. Een onderzoek naar de klimaatkennis van de Vlaamse leerkracht in opleiding. VIVES hogeschool Brugge.
- Brouwers, J., Peeters, B., Van Steertegem, M., & van Lipzig, N. et al. (2015). MIRA Klimaatrapport 2015, over waargenomen en toekomstige klimaatveranderingen. (p. 147). Aalst: Vlaamse Milieumaatschappij i.s.m. KU Leuven, VITO en KMI.
- Burke, K.D., Williams, J.W., Chandler, M.A., Haywood, A.M., Lunt, D.J., Otto-Bliesner, B.L. (2018). Pliocene and Eocene provide best analogs for near-future climates. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115 (52) 13288-13293
- Cook et al. (2016). Consensus on consensus: a synthesis of consensus estimates on human-caused global warming. *Environmental Research Letters* Vol. 11 No. 4.
- Clark, D. (2018). How long do greenhouse gases stay in the air? Geraadpleegd op 1 augustus 2020, van <https://www.theguardian.com/environment/2012/jan/16/greenhouse-gases-remain-air>
- ClimateActionTracker. (2016). The ten most important short-term steps to limit warming to 1.5°C. Geraadpleegd op 2 augustus 2020, van <https://climateactiontracker.org/publications/the-ten-most-important-short-term-steps-to-limit-warming-to-15c/>
- De Lijn. CO2-uitstoot voertuigen. Geraadpleegd op 1 augustus 2020, van <https://www.delijn.be/nl/overdelijn/organisatie/zorgzaam-ondernemen/milieu/co2-uitstoot-voertuigen.html>
- Dienst Klimaatverandering. Het broeikaseffect. Geraadpleegd op 10 augustus 2020, van <https://klimaat.be/klimaatverandering/oorzaken/broeikaseffect>
- Dienst Klimaatverandering. Verschillende broeikasgassen. Geraadpleegd op 5 augustus 2020, van <https://klimaat.be/klimaatverandering/oorzaken/broeikasgassen>
- EPA. (2020). What is Acid Rain? Geraadpleegd op 3 augustus 2020, van <https://www.epa.gov/acidrain/what-acid-rain>
- Forster, P., & Artaxo, P. (2005). Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing. *Notes*.
- Füssel, H.-M., Jol, A., Kurnik, B., & Hemming, D. (2012). Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2012: an indicator-based report. In *EEA Report*.
- Graver, B., Zhang, K., & Rutherford, D. (2019). CO2 emissions from commercial aviation, 2018. *International Council on Clean Transportation, 2019*.
- Greenhouse effect. Britannica Academic, Encyclopaedia Britannica (2020). Retrieved from <https://academic-ebcom.kuleuven.ezproxy.kuleuven.be/levels/collegiate/article/greenhouse-effect/37976>.

Hannah Ritchie and Max Roser (2017) - "CO₂ and Greenhouse Gas Emissions". Published online at OurWorldInData.org. Retrieved from: '<https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions>'

Hansen, J., Sato, M., Russell, G., & Kharecha, P. (2013). Climate sensitivity, sea level and atmospheric carbon dioxide. *Phil. Trans. R. Soc. A*. 371: 20120294.

Helmets, E., Leitão, J., Tietge, U., & Butler, T. (2019). CO₂-equivalent emissions from European passenger vehicles in the years 1995–2015 based on real-world use: Assessing the climate benefit of the European “diesel boom.” *Atmospheric Environment*.

IPCC (1999). Aviation and the global atmosphere. Prepared in collaboration with the Scientific Assessment Panel to the Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer. [J.E. Penner, D.H. Lister, D.J. Dokken, M. McFarland (Eds.)]. Cambridge University Press, UK. pp 373 Retrieved from <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/av-en-1.pdf>

IEA. *Methane tracker 2020*. Geraadpleegd op 26 juli 2020, van <https://www.iea.org/reports/methane-tracker-2020/methane-from-oil-gas>

Inglezakis, J. (2016). Extraterrestrial Environment. In: *Environment and Development: Basic Principles, Human Activities, and Environmental Implications* (Poulopoulos, S.G. & Inglezakis, V.J.). Elsevier, Amsterdam, pp. 453-498.

IPCC (2014). Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Johnson, C. Carbon Dioxide Emission Factors for Coal. Geraadpleegd op 26 juni 2020, van https://www.eia.gov/coal/production/quarterly/co2_article/co2.html

Kulp, S. A., & Strauss, B. H. (2019). New elevation data triple estimates of global vulnerability to sea-level rise and coastal flooding. *Nature Communications*.

Le Quéré, C., Andrew, R. M., Friedlingstein, P., Sitch, S., Pongratz, J., Manning, A. C., ... Zhu, D. (2017). Global Carbon Budget 2017. *Earth System Science Data Discussions*.

MilieuCentraal. Biomassa: een duurzame energiebron? Geraadpleegd op 25 juli 2020, van <https://www.milieucentraal.nl/klimaat-en-aarde/energiebronnen/biomassa/>

MilieuCentraal. Wat is je CO₂-voetafdruk? Geraadpleegd op 1 augustus 2020, van <https://www.milieucentraal.nl/klimaat-en-aarde/klimaatklappers/wat-is-je-co2-voetafdruk/>

Murray-Wallace, C., & Woodroffe, C. (2014). Pleistocene sea-level changes. In *Quaternary Sea-Level Changes: A Global Perspective* (pp. 256-319). Cambridge: Cambridge University Press.

NASA. Is the ozone hole causing climate change? Geraadpleegd op 3 augustus 2020, van <https://climate.nasa.gov/faq/15/is-the-ozone-hole-causing-climate-change/>

NASA. Nitrogen Dioxide. Geraadpleegd op 4 augustus 2020, van https://eosps0.gsfc.nasa.gov/sites/default/files/publications/NO2poster_508.pdf

NASA. Scientific Consensus: Earth's Climate is *Warming*. Geraadpleegd op 1 augustus 2020, van <https://climate.nasa.gov/scientific-consensus/>

NASA. What is the greenhouse effect? Geraadpleegd op 2 augustus 2020, van <https://climate.nasa.gov/faq/19/what-is-the-greenhouse-effect/>

NASA (2019). Climate and Earth's Energy Budget. Geraadpleegd op 4 augustus 2020, van <https://earthobservatory.nasa.gov/features/EnergyBalance/page6.php>

National Geographic Society. (2012). *Pollution*. Geraadpleegd op 27 augustus 2020, van <https://www.nationalgeographic.org/encyclopedia/pollution/>

Oliver, J. & Janssens-Maenhout, G. & Muntean, M. & Peters, Jeroen. (2015). Trends in Global CO2 emissions: 2015 report.

Pearce, R. (2020). Analysis: Why scientists think 100% of global warming is due to humans. Geraadpleegd op 28 juli 2020, van <https://www.carbonbrief.org/analysis-why-scientists-think-100-of-global-warming-is-due-to-humans>

Pierrehumbert, R. T. (2011). Infrared radiation and planetary temperature. *AIP Conference Proceedings*. Retrieved from <https://doi.org/10.1063/1.3653855>

Poore, J., & Nemecek, T. (2018). Reducing food's environmental impacts through producers and consumers. *Science*, 360(6392), 987-992.

Quaschnig, V. *Specific carbon dioxide emissions of various fuels*. Geraadpleegd op 25 juli 2020, van https://www.volker-quaschnig.de/datserv/CO2-spez/index_e.php

Qiancheng, M. (1998). Greenhouse Gases: Refining the Role of Carbon Dioxide, NASA Science Briefs.

Reimann, L., Vafeidis, A. T., Brown, S., Hinkel, J., & Tol, R. S. J. (2018). Mediterranean UNESCO World Heritage at risk from coastal flooding and erosion due to sea-level rise. *Nature Communications*.

Shum C.K., Kuo, C.Y. (2010). Observation and Geophysical Causes of Present-Day Sea-Level Rise. In: Lal R., Sivakumar M., Faiz S., Mustafizur Rahman A., Islam K. (eds) *Climate Change and Food Security in South Asia*. Springer, Dordrecht.

Sioen, L. (2015, November 16). Eén op de vijf Vlamingen gelooft niet in klimaatopwarming door mens. *De Standaard*. Retrieved from http://www.standaard.be/cnt/dmf20151125_01989074

skepticalscience. *The 97% consensus on global warming*. Geraadpleegd op 1 augustus 2020, van <https://skepticalscience.com/global-warming-scientific-consensus-intermediate.htm>

UNFCCC. Global Warming Potentials (IPCC Second Assessment Report). Geraadpleegd op 2 augustus 2020, van <https://unfccc.int/process/transparency-and-reporting/greenhouse-gas-data/greenhouse-gas-data-unfccc/global-warming-potentials>

United Nations Environment Programme, & United Nations. (2016). The Emissions Gap Report 2017. In *United Nations Environment Program*.

Verschuren, D. (2019). *Klimaatverandering - hardnekkige mythes ontkracht* (1ste editie). Gent, België: Academia Press.

WinnACC (2011). Guidelines on greenhouse gas emissions for various transport types. Retrieved from https://www.winacc.org.uk/downloads/STAP/Shorter_Transport%20Emissions%20Report_110328.pdf

Bijlage 3. Lessenpakket klimaatkennis 2: behandeling van misvattingen in de actualiteit

1. Toelichting

Ondanks wetenschappelijke consensus over de overwegend antropogene oorzaak van de huidige klimaatverandering, wordt deze kwestie nog steeds als controversieel ervaren (Ho & Seow, 2015). In het vijfde evaluatierapport van het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) wordt bijvoorbeeld gesteld dat de opwarming van het klimaatsysteem "onmiskenbaar" is en dat de snelheid van de huidige veranderingen in het hele klimaatsysteem "zonder voorgaande" zijn (IPCC, 2013). Ook wordt in klare taal gesproken over de correlatie tussen de menselijke uitstoot van broeikasgassen en de opwarming van de aarde (IPCC, 2013). Toch zijn er mensen die nog steeds erg sceptisch staan tegenover de idee dat de klimaatopwarming door menselijke activiteiten wordt veroorzaakt. Het is de complexiteit en alle daaraan verbonden 'onzekerheden' over klimaatopwarming die ruimte geven voor klimaatsceptici om het debat levendig te houden. Heel vaak komen in de media mensen aan het woord die het klimaatprobleem minimaliseren of foute informatie verspreiden. Deze informatie wordt ook vaak verder verspreid omdat het comfortabel aanvoelt en ons de mogelijkheid geeft om het probleem te negeren en een 'business as usual' scenario verder te zetten. Daardoor is het logisch dat veel mensen in verwarring zijn en niet weten hoe de vork in de steel zit. Voor zinnige maatschappelijke discussie is het belangrijk om de wetenschappelijke inzichten goed in beeld te hebben.

2. Doel

- Misvattingen over klimaatverandering aan het licht brengen en corrigeren.
- Aantonen dat wetenschappelijke argumentatie niet hetzelfde is als het argumenten van overtuigingen en meningen.

3. Werkwijze

Er werd gekozen voor een TV-interview met Jean-Marie Dedecker (voormalig VLD- en NVA-politicus en oprichter van Lijst Dedecker (LDD); momenteel burgemeester van Middelkerke) waaruit klimaatscepticisme en klimaatrelativisme blijken. Er wordt dus gestart vanuit een actuele en relevante maatschappelijke discussie. Om zo een discussie te voeren is het belangrijk om de wetenschappelijke inzichten goed in beeld te hebben. In het fragment worden een aantal misvattingen verkondigd. De meeste van deze stellingen kunnen al worden weerlegd op basis van het educatief pakket in de vorm van de verbeter sleutel bij de enquête. Toch wordt hier per stelling nog aparte feedback voorzien. Ook wordt bij elke stelling vermeld bij welke vraag in de enquête ze aansluit. Een mogelijke manier om dit in de les te integreren is via groepsdiscussies. Leerlingen bekijken het fragment en worden daarna in groepjes verdeeld. Ieder groepje onderzoekt één stelling en probeert daarna argumenten te formuleren waarom de stelling fout is. De leerkracht treedt op als coach en heeft constructieve feedback. Hierbij kan de leerkracht er ook voor kiezen om reeds enkele artikelen te voorzien waarop leerlingen zich kunnen baseren. Daarna kan elk groepje de argumenten presenteren voor de klas. Een andere manier is om via een onderwijsleergesprek meer gestructureerd elke stelling te weerleggen, waarbij leerlingen in dialoog kunnen gaan met elkaar en met de leerkracht.

4. Filmfragment

Lisbeth Imbo interviewt Jean-Marie Dedecker in De zevende dag (17 oktober 2019) over zijn boek 'Geen blad voor de mond'.

Filmfragment: <https://www.youtube.com/watch?v=Yvr6V53bkhU&t=207s> (00:00 – 04:50).

5. Stellingen

Stelling 1: Het CO₂ gehalte moet met 800% verhogen want de aarde ging afkoelen; de paniekzaaiers voorspelden in de jaren 1970 het begin van een ijstijd. Nu is het te warm! Waarom zouden we ze deze keer geloven? (Enquêtevragen 4, 5, 6, 7, 12, 13)

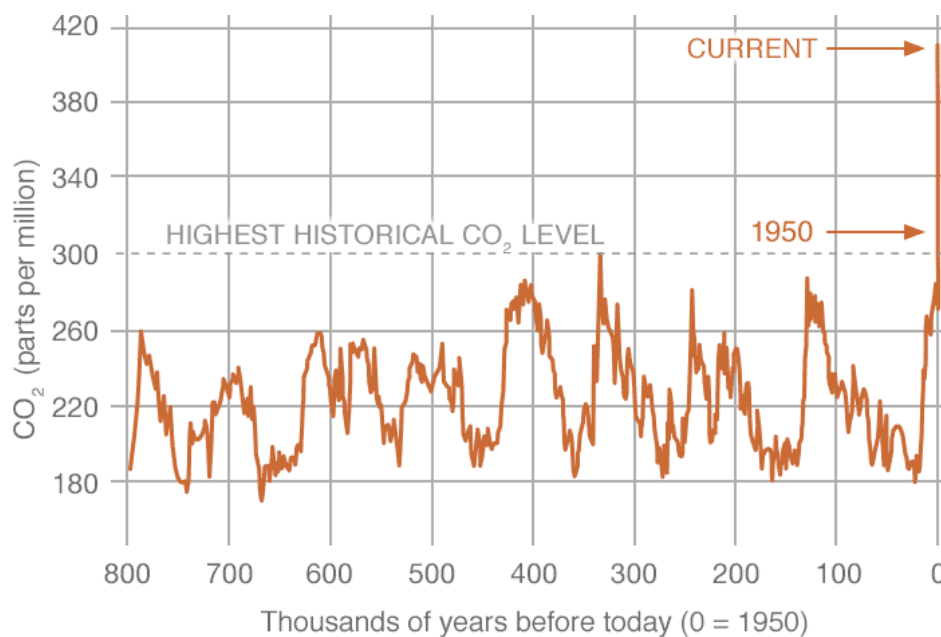
Het is waar dat er enkele voorspellingen waren van een "dreigende ijstijd" in de jaren 1970, maar deze bleken niet te kloppen. Dedecker hanteert hier de techniek van de 'cherry picking': je licht een paar studies toe uit de enorme hoeveelheid onderzoek die beschikbaar is om je argumenten toe te lichten. De rest negeer je.

De wereldwijde temperatuur nam snel toe in het eerste deel van de 20^{ste} eeuw, terwijl het afkoelde met ongeveer 0,2°C na 1940. Vanaf 1970 begon de temperatuur weer te stijgen. De groeiende industriële activiteiten op het einde van de Tweede Wereldoorlog en de vulkaanuitbarsting van Mount Agung in 1963 zorgden voor meer uitstoot van sulfaataërosolen in de atmosfeer wat een afkoelend effect heeft op het klimaat. Deze uitstoot veroorzaakte verschillende milieuproblemen (nl. zure regen en luchtverontreiniging) waardoor een aantal landen, waaronder de VS, sulfaatlimieten vastlegden in Clean Air Acts. Als gevolg daarvan zijn de atmosferische aërosolconcentraties gedaald eind 1970. Naarmate dit alles gebeurde, nam het gebruik van fossiele brandstoffen snel toe.

In de jaren 1970 verschenen enkele wetenschappelijke artikels over de kort daarvoor ontdekte natuurlijke schommelingen van ijstijden en tussenijstijden en de lichte afkoelingstrend van de luchtvervuiling die het zonlicht tegenhoudt. De mythe dat de aarde zou afkoelen werd voor het eerst beschreven door Rasool en Schneider (1971). Zij voorspelden dat een verhogen van de wereldwijde aërosolconcentratie met factor vier een grote afkoelingstrend zou veroorzaken. Daarna volgden enkele artikels in de media die deze voorspelling gebruikten als sensatie. Peterson et al. (2008) toonden in hun onderzoek aan dat slechts zeven van de 71 artikelen een afkoelende trend voorspelden. Er waren geen commissies van de Verenigde Naties, geen G8-ontmoetingen over de gevaren en oplossingen en geen uitspraken van wetenschappelijke instellingen (Beck, 2012). Later realiseerden Rasool en Schneider zich dat ze het afkoelingseffect van aërosolvervuiling hadden overschat en de opwarmend effect van CO₂ hadden onderschat, wat betekent dat opwarming waarschijnlijker is dan afkoeling op lange termijn. Er is brede wetenschappelijke consensus: de temperatuur stijgt, de menselijke CO₂-uitstoot is hiervan de voornaamste oorzaak en het zal nog erger worden als we de uitstoot niet verminderen. Deze consensus wordt gesteund door alle grote wetenschappelijke instellingen.

Als we kijken naar de curve in figuur 1, zien we grote variatie in de CO₂ concentratie in de atmosfeer over de afgelopen 800.000 jaar. Voor 1958 heeft men geen directe metingen van CO₂, maar toch kan men al heel wat zeggen over de hoeveelheid CO₂ in de atmosfeer. Wetenschappers gebruikten historische gegevens verkregen uit ijsboringen van Antarctica. Luchtbelletjes in de ijskernen bevatten de samenstelling van onze atmosfeer op het ogenblik dat de ijslaag zich vormde. En op basis van deze data kan men gaan reconstrueren hoe de CO₂ concentraties in de tijd evolueerde.

De dalen zijn de Kwartaire ijstijden en de pieken zijn de tussenijstijden. De precieze timing van wanneer een ijstijd overgaat in een tussenijstijd en omgekeerd wordt bepaald door variaties in de hellingsas van de aarde in haar omloop rond de zon, en in de vorm van de aardbaan in die omloop, en die hangen af van een aantal astronomische parameters die variëren over tijdschalen van 19.000 tot 100.000 jaar. Als we die astronomische parameters doorrekenen naar de toekomst blijkt dat de huidige tussenijstijd (het Holoceen) nog ongeveer 40.000 jaar zal duren en we pas over ongeveer 60.000 jaar een volgende ijstijd mogen verwachten. De recente stijging in CO₂ (de huidige concentratie is met zekerheid hoger dan ooit in de afgelopen 3-4 miljoen jaar) maakt een abrupt einde aan deze astronomische dynamiek. De mens heeft de geologische klimaatevolutie doorgesneden. Dus we evolueren helemaal niet naar een ijstijd omdat sinds het begin van de Industriële Revolutie menselijke activiteiten het klimaat op aarde bepalen.

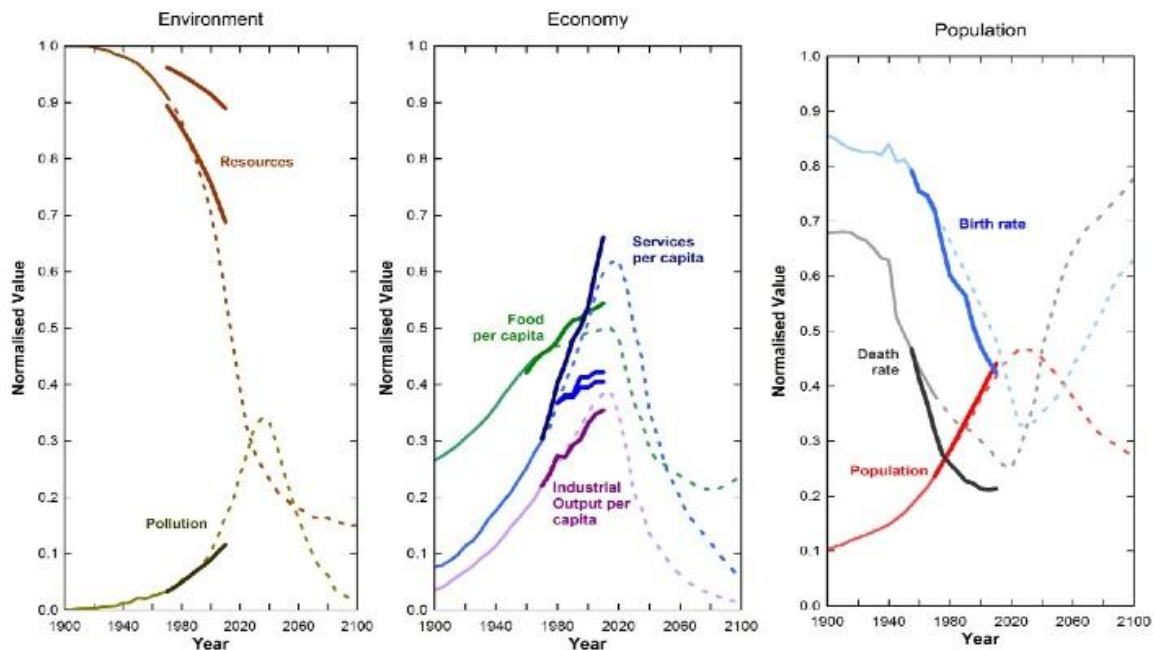


Figuur 1. Variatie in de CO₂-concentratie (ppm) in de atmosfeer over de afgelopen 800.000 jaar.

Stelling 2: De Club van Rome beweerde in 1972 dat 50 jaar later (dus ongeveer vandaag) alle grondstoffen zouden uitgeput zijn. (Enquêtevraag 20)

Het rapport 'The Limits to Growth' van de Club van Rome, dat in maart 1972 officieel verscheen maar al in augustus 1971 uitlekte, zorgde wereldwijd voor veel commotie. Het rapport had een krachtige impact op het mondiale milieubewustzijn (Laeken, 2018). Het rapport onderzocht vijf grote wereldproblemen en hun onderlinge verband: de groei van de wereldbevolking, de voedselproductie, de industrialisatie, de uitputting van grondstoffen en milieuvervuiling. De alarmerende slotsom van het rapport was, dat als de wereld zo doorging met consumeren, er binnen 100 jaar grote problemen zouden ontstaan qua bevolkingsgroei en industriële productie terwijl de uitputting van grondstoffen al binnen 50 jaar tijd bleek niet helemaal te kloppen en wordt daarom door Jean-Marie als argument gebruikt dat het rapport te alarmistisch is. Ook critici hebben het rapport altijd beschouwd als een doemscenario dat zich toch nooit zou voltrekken. In 2002 werd 'Limits to Growth' zelfs nog 'de vuilbak van de geschiedenis' genoemd (Laeken, 2018). Onderzoek aan de University of Melbourne, op basis van gegevens verstrekt door onder meer de UNESCO en de Verenigde Naties, geven die critici nu

ongelijk. Dit onderzoek toont aan dat de voorspellingen van de Club van Rome toch erg accuraat waren. Dr. Graham Turner van de universiteit van Melbourne heeft de voorspellingen van toen naast de werkelijke cijfers sinds 1970 gelegd. Op onderstaande grafieken (Fig. 2) staan zowel de reële gegevens (*de volle lijn*) als het business-as-usual scenario dat de Club van Rome voorspelde (*de stippellijn*). Tot 2010 lopen de data opvallend gelijk met de prognoses uit 'Limits to Growth'. Ook de gevolgen die in het rapport geschetst werden, ondervindt onze huidige maatschappij al: natuurlijke rijkdommen worden in sneltempo opgebruikt, de bevolking stijgt bijzonder snel, de milieuvervuiling is nu wereldwijd verspreid, enz.

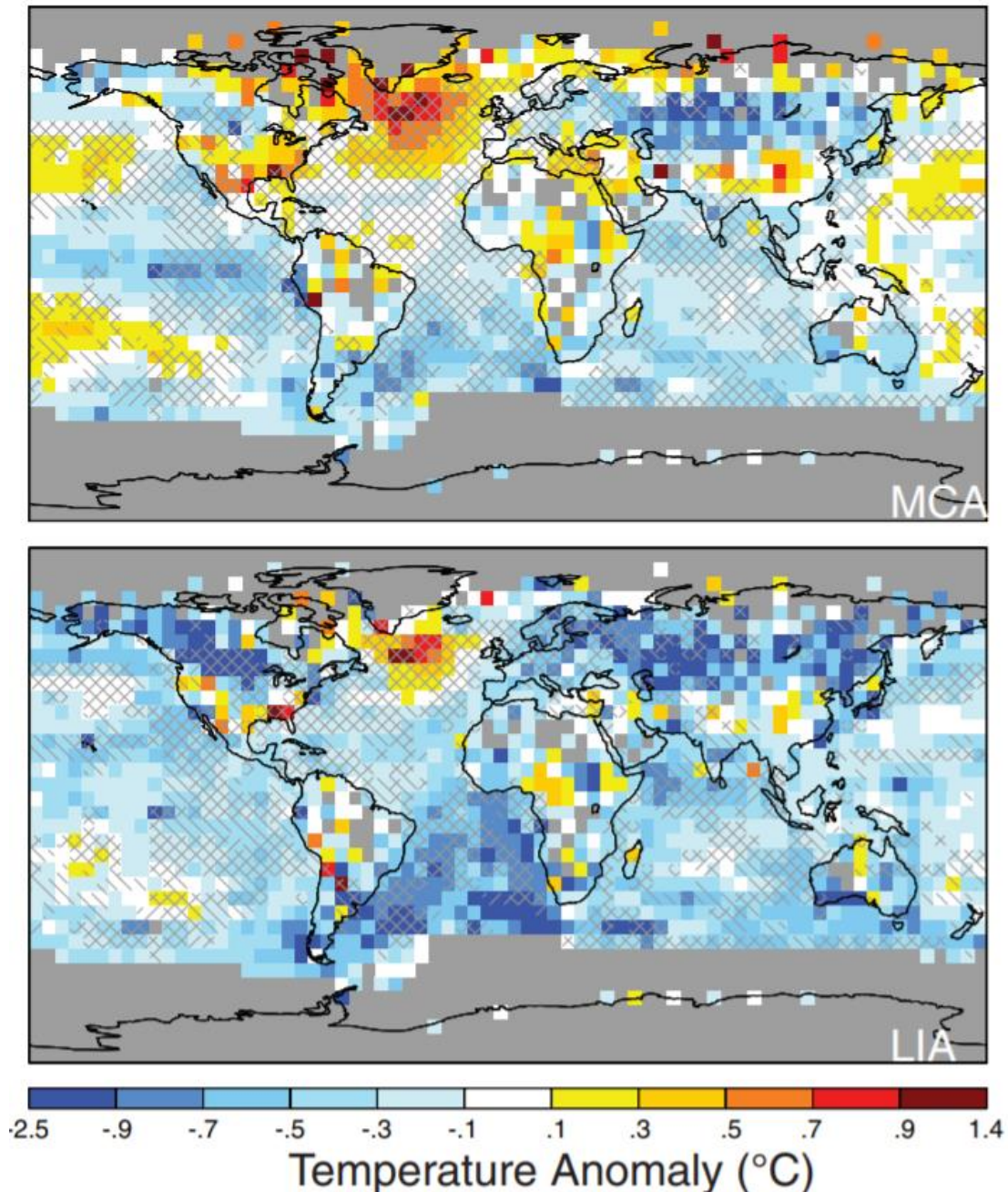


Figuur 2. Business-as-usual scenario dat de Club van Rome voorspelde (*de stippellijn*) in vergelijking met de reële gegevens (*de volle lijn*) van 1970 tot 2010.

Stelling 3: Het klimaat in Europa was tijdens de middeleeuwen warmer dan vandaag. Hiermee kunnen we verklaren dat de huidige trend van stijgende temperaturen deel uitmaakt van een natuurlijk proces van warme en koude periodes die elkaar opvolgen in de loop van de tijd. (Enquêtevraag 12)

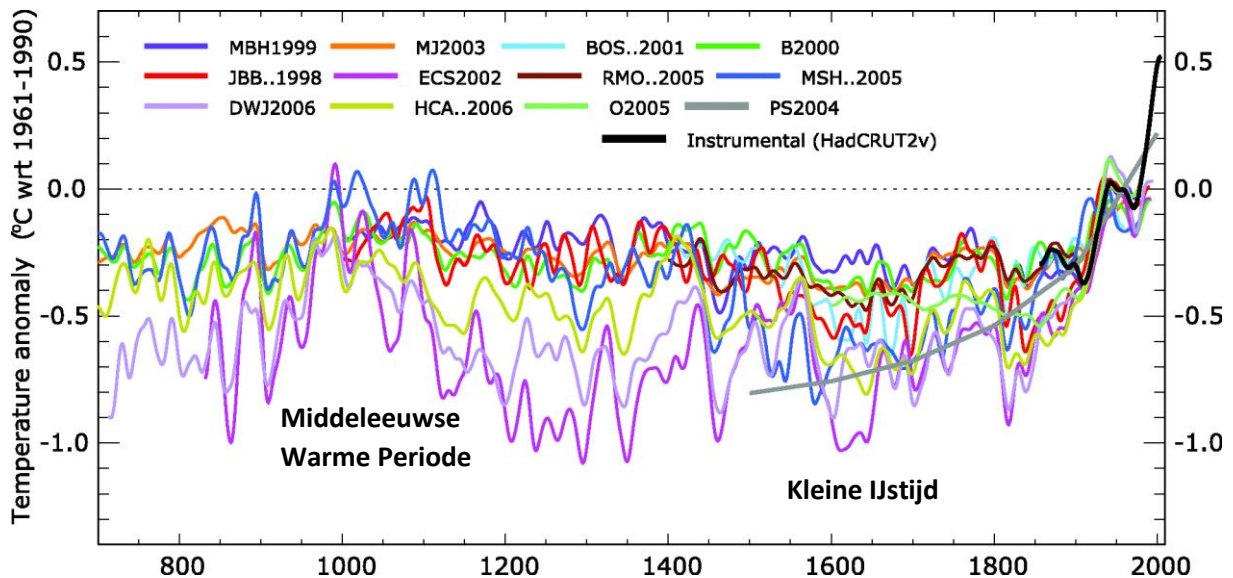
Het eerste deel van de stelling klopt: het klimaat in Europa was tijdens de middeleeuwen mogelijk even warm of warmer dan vandaag. De gevolgtrekking die daarna komt, is fout. En dit is waarom: De middeleeuwse warme periode (MWP), ook wel bekend als het middeleeuws klimaatoptimum, was een periode van warm klimaat in de Noord-Atlantische regio van 950 tot 1250 (Rosenthal et al., 2013). In deze tijd konden de Vikingen via de ijsvrije zeeën Groenland koloniseren. Noord-Amerika kende langdurige droogteperiodes. Dit fenomeen werd echter niet globaal waargenomen: sommige andere regio's, zoals de tropische Stille Oceaan, waren zelfs kouder dan gemiddeld. Om te achterhalen hoe algemeen warm de MWP was, moet men de temperaturen op wereldschaal bekijken en niet enkel die van specifieke regio's. Klimaatproxies (indicatoren van klimaatveranderingen in het verleden) in natuurlijke klimaatarchieven zoals boomringen, ijskernen, koralen en meersedimenten verspreid over de hele wereld werden gebruikt om een globale kaart van de afwijkingen in temperatuur te

construeren tijdens de piek van het MWP en tijdens de koudste fase van de daaropvolgende Kleine IJstijd (Fig. 3: Mann 2009). Tijdens het MWP waren er warme omstandigheden in een groot deel van de Noord-Atlantische Oceaan, Zuid-Groenland, het Euraziatisch-Arctische gebied en delen van Noord-Amerika. In deze regio's lag de gemiddelde jaartemperatuur hoger dan de basislijn van 1961-1990. In sommige gebieden waren de temperaturen zelfs net zo warm als vandaag. Sommige regio's, zoals Midden-Eurazië, het noordwesten van Noord-Amerika en de tropische Stille Oceaan, waren echter aanzienlijk koeler dan het gemiddelde van 1961 tot 1990.



Figuur 3. Gereconstrueerd patroon van de oppervlaktetemperatuur voor de 'Medieval Climate Anomaly' (MCA) van 950 tot 1250 en de 'Little Ice Age' (LIA) van 1400 tot 1700 . De kaart toont de gemiddelde oppervlaktetemperatuur ten opzichte van de referentieperiode (1961-1990). De grijze zones tonen de regio's waarbij onvoldoende data zijn om een reconstructie te maken.

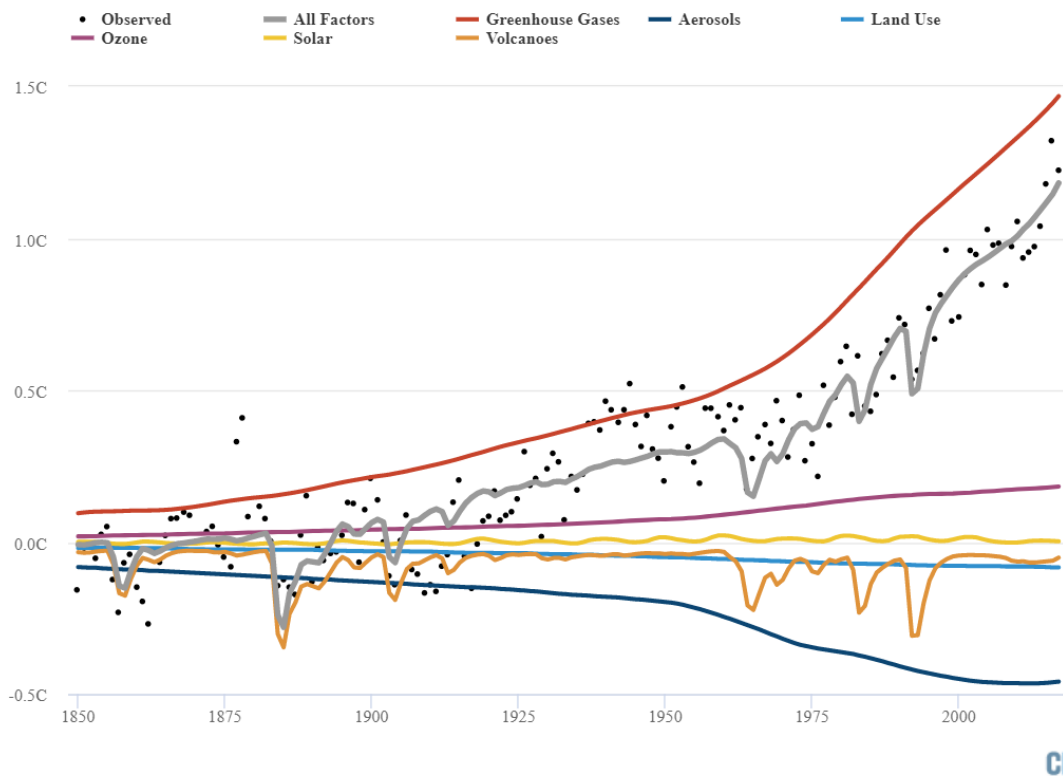
Zoals te zien in figuur 4, waren de temperaturen tijdens de Middeleeuwen wereldwijd minder hoog dan nu. De oorzaak van middeleeuwse warmte is een combinatie van verhoogde zonneactiviteit, verminderde vulkanische activiteit en veranderingen in de oceaancirculatie (Bradley, 2003). De periode werd gevolgd door een wereldwijd gemiddeld koelere periode, ook wel de Kleine IJstijd genoemd (IPCC, 2007).



Figuur 4. Reconstructie van de variatie in gemiddelde jaartemperatuur over het noordelijk halfrond over de laatste 1000 jaar op basis van klimaatindicatoren van diverse natuurlijke klimaatarchieven (boomringen, stalagmieten, fijn-gelamineerde meersedimenten en ijsboring) en instrumenteel gemeten temperatuurdata (zwarte lijn) (Mann, 2009).

Extra opmerking: Het is misleidend als deze conclusie enkel en alleen gebaseerd is o.b.v. van historische bronnen die aantonen dat wijngaarden in Noord-Europa bestonden (waar nu niet aan wijnbouw wordt gedaan). Dit wordt niet specifiek aangehaald in het debat, maar wanneer zou verwezen worden naar dergelijke historische bronnen, is het belangrijk om de context in rekening te nemen. Zo werden tijdens de middeleeuwen wijngaarden voornamelijk aangelegd voor productie van wijnazijn om voedingsmiddelen te bewaren. Druiven werden dus reeds geplukt terwijl ze nog zuur waren. In moderne wijnproductie worden druiven pas geoogst wanneer ze voldoende suikers hebben opgeslagen dankzij rijping tijdens een warme zomer. Ze kunnen dan gebruikt worden in onder meer de productie van alcohol. Het doel van de druivenproductie was dus anders. Aangezien druiven in de middeleeuwen reeds geplukt waren terwijl ze nog zuur waren, was het mogelijk om wijn (eigenlijk wijnazijn) te verbouwen in landen zoals Schotland en Denemarken, landen waar (tot voor kort!) winters vaak te lang en zomers niet zonnig en warm genoeg waren om te zorgen voor een volledige rijping van de druiven op de plant (Verschuren, 2019).

Stelling 4: “Ik denk dat de menselijke correlatie niet doorslaggevend is.” (Enquêtevragen 4, 5, 6, 7, 12, 13)



Figuur 5. Evolutie van de jaarlijks wereldwijd gemiddelde oppervlaktetemperatuur voor de periode van 1850 tot 2017 (zwarte stippen) en gemodelleerde invloed van verschillende klimaatdrijvers (gekleurde lijnen), evenals de combinatie van alle drijvers (grijze lijn).

Metingen tonen aan dat de gemiddelde jaartemperatuur op aarde ongeveer 1,1°C is toegenomen t.o.v. het begin van de metingen (i.e. het gemiddelde van waarnemingen tijdens de periode 1850-1900). Wetenschappers meten de verschillende factoren die van invloed zijn op de hoeveelheid energie die in het klimaat van de aarde terecht komt en blijft. Deze zogenaamde klimaatdrijvers omvatten broeikasgassen, aerosolen, veranderingen in zonnestraling, vulkaanuitbarstingen, veranderingen in landgebruik en ozon. Om de rol van elke klimaatdrijver in de waargenomen temperatuur-trend te beoordelen, wordt een statistisch klimaatmodel ontwikkeld. De zwarte stippen in figuur 5 tonen de waargenomen oppervlaktetemperatuur, terwijl de grijze lijn de geschatte opwarming toont door de combinatie van alle verschillende factoren. Dit model toont aan dat alleen wanneer de uitstoot van broeikasgassen in rekening gebracht wordt, men de historische stijging in temperatuur kan verklaren. Men kan dus met zekerheid zeggen dat de menselijke uitstoot van broeikasgassen verantwoordelijk is voor de opwarming van de aarde die men meet sinds het begin van de Industriële Revolutie (CarbonBrief, 2019).

Vulkanische as zorgt voor weerkaatsing van het zonlicht richting de ruimte. Doordat de wind de as ver kan verspreiden, veroorzaakt dit een globale afkoeling. Ongeveer drie jaar na de uitbarsting is alle as uit de atmosfeer geregend waardoor het effect verdwijnt. Grote vulkaanuitbarstingen zorgen voor de tijdelijke ‘dips’ in de grafiek, maar omdat CO₂ intussen is blijven stijgen hebben deze dips weinig effect op de lange-termijn trend. De hoeveelheid zonne-energie die de aarde bereikt, schommelt over een cyclus van ongeveer 11 jaar en hangt samen met het aantal zonnevlekken, die gemeten kunnen

worden door satellieten. Er werd een lichte toename geregistreerd van de totale zonneactiviteit sinds de jaren 1850, maar de hoeveelheid extra zonne-energie die de aarde bereikte was klein in vergelijking met andere onderzochte klimaatdrijvers. In de afgelopen 50 jaar is de hoeveelheid zonne-energie die de aarde bereikt zelfs licht gedaald, terwijl de temperatuur drastisch is gestegen.

Aërosolen in de atmosfeer reflecteren de binnenkomende zonnestraling terug in de ruimte en verhogen de vorming van hoge, reflecterende wolken. Beide factoren zorgen voor een afkoelend effect op aarde.

Ozon is een kortstondig broeikasgas dat de uitgaande warmte vasthoudt en de aarde opwarmt. Ozon wordt niet direct uitgestoten, maar wordt gevormd wanneer methaan, koolstofmonoxide, stikstofoxiden en vluchtige organische stoffen in de atmosfeer worden afgebroken. De toename van ozon is rechtstreeks toe te schrijven aan de uitstoot van deze gassen door de mens.

Wijzigingen in landgebruik veranderen het reflectievermogen van het aardoppervlak. Zo zal bijvoorbeeld het vervangen van een bos door een veld over het algemeen de hoeveelheid zonlicht die in de ruimte wordt teruggekaatst vergroten. veranderingen in landgebruik resulteren sinds 1850 in een afkoeling.

Stelling 5: In 1306 liep men droogvoets door Rijn, Seine en Schelde; 1564 haven van Marseille dichtgevroren (Enquêtevraag 12)

Dit zijn kortstondige extreme weerfenomenen, en die hebben zich altijd voorgedaan en zullen zich blijven voordoen.

Stelling 6: Ik weiger mee te gaan in het alarmisme; Er zijn heel wat Nobelprijswinnaars die de menselijke oorzaak in het klimaatverhaal betwisten; Het is een religie. (enquêtevragen 1, 8)

Wie waarschuwt voor klimaatverandering wordt soms afgeschilderd als 'alarmistisch' of als iemand die aanhanger is van de 'klimaatreligie'. Het is een manier om wetenschappelijke argumenten te betwisten en te ontkennen. In 2015 werd in Parijs het klimaatakkoord ondertekend waarbij 195 landen erkenden dat de klimaatveranderingen een bedreiging vormt voor de mensheid en de planeet. Dedecker beschouwt die regeringsleiders en de VN dus allemaal als alarmisten of niet-denkende 'believers'? Het argument van de Nobelprijswinnaars kan ook makkelijk weerlegd worden: de meeste Nobelprijswinnaars (Vrede, Scheikunde, Geneeskunde, enz.) hebben zich nooit toegelegd op de wetenschap van klimaatverandering en hebben er dus weinig verstand van.

6. Bibliografie

Beck, C. (2012). *'They predicted global cooling in the 70s'—But that didn't even remotely resemble today's consensus*. Geraadpleegd op 3 augustus 2020, van <https://grist.org/climate-energy/they-predicted-global-cooling-in-the-1970s/>

Bradley, Raymond S. (2003). "Climate of the Last Millennium". Climate System Research Center.

Historiek (2018). Club van Rome – Grenzen aan de groei (1972). Geraadpleegd op 3 augustus 2020, van <https://historiek.net/club-van-rome-grenzen-aan-de-groei-1972/80577/>

IPCC (2007). *Climate change 2007: the physical science basis: contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press for the Intergovernmental Panel on Climate Change.

Jansen, E., J. Overpeck, K.R. Briffa, J.-C. Duplessy, F. Joos, V. Masson-Delmotte, D. Olago, B. Otto-Bliesner, W.R. Peltier, S. Rahmstorf, R. Ramesh, D. Raynaud, D. Rind, O. Solomina, R. Villalba and D. Zhang (2007) *Palaeoclimate*. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Laeken, F. (2018). *De Club van Rome: alarmfase groen*. Geraadpleegd op 3 augustus 2020, van <https://www.eoswetenschap.eu/geschiedenis/de-club-van-rome-alarmfase-groen>

Mann, M. E., Zhang, Z., Hughes, M. K., Bradley, R. S., Miller, S. K., Rutherford, S., & Ni, F. (2008). Proxy-based reconstructions of hemispheric and global surface temperature variations over the past two millennia. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*.

Mann, M. E.; Zhang, Z.; Rutherford, S.; et al. (2009). "Global Signatures and Dynamical Origins of the Little Ice Age and Medieval Climate Anomaly". *Science*. 326 (5957): 1256–60.

Peterson et al. "The Myth of the 1970s Global Cooling Scientific Consensus." *American Meteorological Society* (September 2008): 1325-37. <https://dx.doi.org/10.1175/2008BAMS2370.1>.

S.I. Rasool, S.H. Schneider. "Atmospheric carbon dioxide and aerosols: Effects of large increases on global climate." *Science* (1971): 173, 138-141. <https://pubs.giss.nasa.gov/abs/ra00600k.html>

Rosenthal, Y.; Linsley, B. K.; Oppo, D. W. (2013). "Pacific Ocean Heat Content During the Past 10,000 Years". *Science*. 342 (6158): 617–621.

SkepticalScience. (2015). "How does the Medieval Warm Period compare to current global temperatures?" Geraadpleegd op 3 augustus 2020, van <https://www.skepticalscience.com/medieval-warm-period.htm>

Verschuren, D. (2019). *Klimaatverandering - hardnekkige mythes ontkracht* (1ste editie). Gent, België: Academia Press.